



TUGAS AKHIR - TM 141585

**PEMODELAN DAN ANALISA RESPON
DINAMIS DAN ENERGI BANGKITAN DARI
HYDRO- MAGNETO ELECTRIC
REGENERATIVE SHOCK ABSORBER PADA
SISTEM SUSPENSI TRUK DENGAN
KAPASITAS *ENGINE 4000 CC***

TRI AYU RACHMAWATI
NRP 2113 105 009

Dosen Pembimbing :
Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, ST., M. Eng.

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR - TM 141585

**MODELING AND ANALYZING DYNAMIC
RESPONSE AND ENERGY FROM HYDRO-
MAGNETO ELECTRIC REGENERATIVE
SHOCK ABSORBER IN TRUCK
SUSPENSION SYSTEM WITH 4000 CC
ENGINE CAPACITY**

TRI AYU RACHMAWATI
NRP 2113 105 009

Dosen Pembimbing :
Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, ST., M. Eng.

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

**PEMODELAN DAN ANALISA RESPON DINAMIS DAN
ENERGI BANGKITAN DARI HYDRO- MAGNETO
ELECTRIC REGENERATIVE SHOCK ABSORBER
PADA SISTEM TRUK DENGAN KAPASITAS 4000cc**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Sistem Dinamis dan Vibrasi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Tri Ayu Rachmawati
Nrp. 2113 105 009

Ditetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Eng. Haris Laksana Gunur, ST, M. Eng. (Pembimbing I)
(NIP. 19750511 19990340 01)

2. Dr. Wiwiek Hendrowati, ST, MT. (Penguji I)
(NIP. 19700412 19970120 01)

3. Moch. Solichin, ST, MT. (Penguji II)
(NIP. 198908172015041003)

4. Aida Annisa Amin D, ST, MT. (Penguji III)
(NIP. 198907052015042005)

SURABAYA
Januari, 2016

**PEMODELAN DAN ANALISA RESPON DINAMIS DAN
ENERGI BANGKITAN DARI HYDRO- MAGNETO
ELECTRIC REGENERATIVE SHOCK ABSORBER PADA
SISTEM SUSPENSI TRUK DENGAN KAPASITAS
ENGINE 4000 CC**

Nama : Tri Ayu Rachmawati
Nrp : 2113105009
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Harus Laksana Guntur,
ST.,M.Eng.

Abstrak

Truk merupakan sebuah kendaraan bermotor yang berfungsi untuk mengangkut barang jarak jauh. Sebuah truk dapat berjalan dan berfungsi dikarenakan terdapat sebuah mesin di dalamnya. Mesin pada truk tentunya membutuhkan bahan bakar agar dapat bekerja. Pada penelitian terdahulu energi dari bahan bakar yang dimanfaatkan untuk menggerakkan kendaraan hanya sebesar 18% - 25%. Dan juga diketahui bahwa potensi energi yang bisa dihasilkan oleh suspensi dari kendaraan truk berkisar 1kw – 10kw.

Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan pemodelan dan analisa respon dinamis dan energi bangkitan dari Hydro-Magneto Electric Regenerative Shock Absorber menggunakan software MATLAB. Input yang digunakan adalah step dan harmonik. Pada tugas akhir ini, dibuat pemodelan secara teoritis, simulasi, serta analisis perbedaan antara suspensi miring dan tegak. Diawali dengan simulasi pada HMERSA dengan variasi frekuensi, kemudian dari hasil simulasi akan didapatkan koefisien redaman yang sesuai dengan kendaraan yaitu dengan dengan truk dengan frekuensi 1.7 Hz. Hasil redaman yang didapat akan digunakan sebagai parameter HMERSA yang dipasang pada seperempat kendaraan.

Parameter simulasi sistem HMERSA ini disesuaikan dengan jurnal internasional yang telah ada. Metodologi

penelitian yang digunakan yaitu studi literatur, pemodelan sistem HMERSA, kemudian pemodelan sistem seperempat kendaraan dengan HMERSA tegak dan miring. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa gaya redam yang dihasilkan oleh HMERSA miring lebih kecil daripada HMERSA tegak. Dari sistem HMERSA tegak, didapatkan nilai gaya redam ekspansi terbesar 4279 N sedangkan HMERSA miring sebesar 4752N. Pada sistem quarter car dengan HMERSA miring dihasilkan respon dinamis yaitu perpindahan maksimum 4.798m dan kecepatan 8.57 m/s. Pada sistem quarter car dengan HMERSA tegak dihasilkan respon dinamis dengan variasi kecepatan 20km/jam, 40km/jam dan 60km/jam. Perpindahan terbesar terjadi pada kecepatan 60 km/jam yaitu sebesar 4.8m, , kecepatan sebesar 7 m/s, dan gaya redam maksimum sebesar 2.112×10^5 N. Untuk hasil respon kelistrikan, daya listrik maksimum yang dapat dibangkitkan yaitu sebesar 100 watt dengan arus listrik maksimum 5A dan tegangan listrik sebesar 20V.

Kata kunci : Regenerative Shock Absorber, truk, kendaraan berat, sistem suspensi

MODELING AND ANALYZING DYNAMIC RESPONSE AND ENERGY FROM HYDRO-MAGNETO ELECTRIC REGENERATIVE SHOCK ABSORBER IN TRUCK SUSPENSION SYSTEM WITH 4000 CC ENGINE CAPACITY

Nama : Tri Ayu Rachmawati
Nrp : 2113105009
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Harus Laksana Guntur,
ST.,M.Eng.

Abstract

Truck is one motor vehicle to carry a stuff to far far away. A truck can drive because of there is an engine inside it. An engine of a truck of course needed a fuel to work. Old research of an energy proofed that fuel which used to moving a vehicle is just 18% - 25%. And also known that the potential of the energy be produced by the truck suspension is nearly 1 kW - 10 kW.

In this study will do a modeling and analyzing the dynamic response and renewable energy from Hydro- Magneto Electric Regenerative Shock Absorber with used MATLAB software. Input to be used are step and harmonic. In this study made a simulation modeling theoretical, simulation, and different analysis between straight and skew suspension. First done with simulation in HMERSA with variety frequency, then from the result of the simulation got the damping coefficient which fit with the truck with 1.7 Hz frequency. The damping result will be used for the HMERSA parameter which be installed on the quarter of the vehicle.

This HMERSA simulation parameter fitted with existed international journal. the Research method is literature study, HMERSA system modeling, then quarter vehicle system modeling with HMERSA straight and skew suspension. From this research conclude that the damping force from skew HMERSA is tinier than a straight HMRSA. From straight HMRSA got the result of

expansion damping force is 4279N, while from skew HMRSA is 4752N. In quarter car system with skew HMRSA resulted a dynamic response, maximum acceleration 4.798m and the velocity is 8.56 m/s. In quarter car system with HMRSA resulted a dynamic response with velocity variety 20 km/hour, 40 km/hour and 60 km/hour. The biggest movement 4.8 m/s on the 60 km/hour, 7m/s velocity and maximum damping force is 2.112×10^4 N. For electricity response, maximum electricity power is 100 watt with 5A current and 20V.

Key words: *Regenerative Shock Absorber, Truck, Heavy Vehicle, Suspension system.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur dihaturkan kehadirat Allah Subhanallahu Wa Ta'ala, hanya karena tuntunan-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana S-1 di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penyusunan Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak, Ibu, Mas Aan dan Mas Fadjar yang tidak ada hentinya mendoakan dan member semangat selama ini.
2. Bapak Dr.Eng. Harus Laksana Guntur, ST.M.Eng yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
3. Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT selaku dosen wali saya.
4. Dr. Wiwiek Hendrowati ST, MT, M. Solichin, ST., MT, dan Aida Annisa Amin D, ST., MT selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik kepada penulis tentang Tugas Akhir ini.
5. Segenap dosen dan staff karyawan Jurusan Teknik Mesin FTI ITS, yang telah memberikan ilmu dan wawasan
6. Teman-teman Lintas Jalur Gasal yang tercinta, Neva dan Septi yang banyak membantu penulis.
7. Teman-teman seperjuangan “MBP” yang selalu member semangat dan menghibur penulis dalam proses mengerjakan Tugas Akhir ini.

Dengan segala keterbatasan kemampuan serta pengetahuan penulis, tidak menutup kemungkinan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis bersedia menerima kritik dan saran dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut.

Semoga hasil penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|-----------------------------|-------------|
| HALAMAN JUDUL | |
| ABSTRAK..... | i |
| ABSTRACT | iii |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI..... | vii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xv |
| DAFTAR SIMBOL | xvii |

BAB I PENDAHULUAN

| | |
|---------------------------|---|
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.4 Tujuan..... | 2 |

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

| | |
|--|----|
| 2.1 Sistem Suspensi Regenerative | 5 |
| 2.2 Motion of Base | 12 |
| 2.3 Persamaan pada Mekanisme Hidrolik | 13 |
| 2.3.1 Persamaan Bernaulli | 13 |
| 2.3.2 Headloss | 14 |
| 2.3.3 Hukum Kekekalan Massa..... | 15 |
| 2.3.4 Hukum Pascal..... | 15 |
| 2.4 Generator Listrik | 15 |
| 2.5 Motor Hidrolik | 18 |
| 2.6 Pengaruh Percepatan Kendaraan Terhadap Kenyamanan..... | 19 |
| 2.7 Simulink Matlab | 20 |

BAB III METODE PENELITIAN

| | |
|--|----|
| 3.1 Studi Literatur dan Studi Lapangan..... | 25 |
| 3.2 Pemodelan dan Simulasi Sistem HMERSA | 25 |
| 3.2.1 Pemodelan Dinamis Sistem HMERSA . | 25 |

| | |
|---|----|
| 3.2.2 Pembuatan Blok Simulasi Sistem HMERSA | 28 |
| 3.2.3 Analisis Grafik Sistem HMERSA | 30 |
| 3.3 Pemodelan dan Simulasi Sistem Setengah Kendaraan dengan HMERSA | |
| 3.3.1 Pemodelan Matematis dan Pembuatan Persamaan dari sistem HMERSA..... | 30 |
| 3.3.2 Pembuatan Blok Simulasi Sistem Setengah Kendaraan dengan HMERSA | 34 |
| 3.3.3 Analisi Grafik Sistem Setengah Kendaraan dengan HMERSA..... | 35 |
| BAB IV PEMODELAN SISTEM | |
| 4.1 Pemodelan Matematis Seperempat Kendaraan | 35 |
| 4.1.1 Pemodelan Matematis Seperempat Knedaraan Tanpa Sudut | 35 |
| 4.1.2 Pemodelan Matematis Seperempat Kendaraan dengan Sudut..... | 36 |
| 4.2 Pemodelan Sistem HMERSA..... | 37 |
| 4.2.1 Pemodelan Sistem Hidrolis | 38 |
| 4.2.2 Motor Hidorolik, Gear dan Torsi Elektrik pada Generator | 41 |
| 4.2.3 Persamaan Generator yang Telah Dilinierkan (untuk T_e , V dan I)..... | 43 |
| 4.3 Diagram Blok | 47 |
| 4.3.1 Input yang Digunakan | 47 |
| 4.3.2 Diagram blok system HMERSA | 49 |
| 4.3.3 Diagram Blok System Seperempat Kendaraan dengan Penambahan HMERSA ... | 52 |
| BAB V ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| 5.1 Respon Dinamis pada Pasangan Diameter Siinder Hidrolik, Diameter Batang Piston, Diameter Pipa dengan Variasi Frekuensi..... | 56 |
| 5.2 Respon Gaya Redam pada Sistem HMERSA dengan dan tanpa Sudut | 56 |

| | |
|---|------------|
| 5.2.1 Respon Voltase, Arus dan Daya Listrik Bangkitan pada Sistem HMERSA dengan dan TANpa Sudut dengan Variasi Frekuensi..... | 58 |
| 5.3 Respon Dinamis Sistem Seperempat Kendaraan dengan Penambahan Sistem HMERSA..... | 62 |
| 5.3.1 Input Bump..... | 63 |
| 5.3.2 Input Sinusoidal..... | 66 |
| 5.4 Grafik RMS (<i>Root Mean Square</i>) | |
| 5.4.1 Grafik RMS Percepatan Body Kendaraan pada Input Sinusoidal Variasi Kecepatan Kendaraan..... | 73 |
| 5.4.2 Grafik Displacement Transsmiablity pada Input Sinusoidal Variasi Kecepatan Kendaraan | 74 |
| BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN | |
| 6.1 Kesimpulan..... | 79 |
| 6.2 Saran..... | 80 |
| DAFTAR PUSTAKA | xix |
| LAMPIRAN | |
| BIODATA PENULIS | |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Hydraulic Regenerative Shock Absorber | 5 |
| Gambar 2.2 | Linear Electromagnetic Absorber | 6 |
| Gambar 2.3 | Rotational Absorber dengan Prinsip Roda Gigi .. | 7 |
| Gambar 2.4 | Electromagnetic Regenerative Shock Absorber .. | 7 |
| Gambar 2.5 | Skema regenerative magnetic shock absorber | 9 |
| Gambar 2.6 | Konstruksi (HMERSA) | 10 |
| Gambar 2.7 | Skema HMRSA | 11 |
| Gambar 2.8 | Skema HMRSA untuk penambahan akumulator | 11 |
| Gambar 2.9 | Base Excitation | 12 |
| Gambar 2.10 | Penerapan hukum bernouli pada penampang | 13 |
| Gambar 2.11 | Alternator AC sepeda motor | 16 |
| Gambar 2.12 | Skema elektromagnetik | 17 |
| Gambar 2.13 | Skema generator listrik | 17 |
| Gambar 2.14 | Motor hidrolis | 18 |
| Gambar 2.15 | Ketahanan badan manusia terhadap percepatan linier yang dapat diterima | 19 |
| Gambar 2.16 | Contoh block diagram Simulink matlab | 21 |
| Gambar 3.1 | Diagram alir penyelesaian tugas akhir | 24 |
| Gambar 3.2 | (a) Prototipe HMERSA | 26 |
| | (b) Skema HMERSA | 26 |
| Gambar 3.3 | Aliran fluida saat piston bergerak ke bawah (kompresi) | 26 |
| Gambar 3.4 | Aliran fluida saat piston bergerak ke atas (ekspansi) | 27 |
| Gambar 3.5 | (a) Model Fisik Truk Tampak Depan | 30 |
| | (b) Suspensi Truk Tampak Depan | 30 |
| Gambar 3.6 | Model fisik truk tampak samping | 31 |
| Gambar 3.7 | (a) Model Fisik Truk Tampak Belakang | 31 |
| | (b) Suspensi Truk Tampak Belakang | 31 |
| Gambar 3.8 | Model matematis sistem kendaraan tampak depan dengan F_d merupakan sistem HMERSA | 32 |

| | |
|--|----|
| Gambar 3.9 Model matematis sistem setengah kendaraan tampak samping dengan F_d merupakan sistem HMERSA | 33 |
| Gambar 3.10 Diagram alir proses pembuatan persamaan gerak dari sistem HMERSA..... | 34 |
| Gambar 4.1 Model matematis seperempat kendaraan truk..... | 35 |
| Gambar 4.2 FBD untuk system seperempat kendaraan suspense tegak | 36 |
| Gambar 4.3 Model matematis seperempat kendaraan truk suspense miring dengan <i>HMERSA</i> | 36 |
| Gambar 4.4 FBD untuk system seperempat kendaraan suspense miring | 37 |
| Gambar 4.5 Skema <i>HMERSA</i> | 38 |
| Gambar 4.6 FBD untuk pasanagan <i>gear</i> | 41 |
| Gambar 4.7 Profil Jalan dengan Input <i>Bump</i> yang dimodifikasi..... | 47 |
| Gambar 4.8 Profil Jalan dengan Input Sinusoidal..... | 48 |
| Gambar 4.9 Diagram Blok <i>Simulink</i> Bagian Mekanisme HEMSA tanpa pada <i>Quarter Car</i> | 49 |
| Gambar 4.10 Diagram Blok <i>Simulink</i> Bagian Mekanisme HEMSA dengan sudut pada <i>Quarter Car</i> | 50 |
| Gambar 4.11 Blok Simulasi Sistem Hidrolik..... | 50 |
| Gambar 4.12 Blok Simulasi <i>Headloss major dan minor</i> | 51 |
| Gambar 4.13 Diagram blok untuk Gear..... | 51 |
| Gambar 4.14 Diagram blok untuk torsi elektrik | 51 |
| Gambar 4.15 Diagram blok untuk arus yang dihasilkan HMERSA | 52 |
| Gambar 4.16 Diagram blok untuk voltase yang dihasilkan HMERSA | 52 |
| Gambar 4.17 Diagram blok untuk system seperempat kendaraan dengan penambahan HMERSA untuk input sinusoidal maupun bump | 53 |
| Gambar 5.1 Grafik perbandingan gaya redam terhadap (a) kecepatan dan (b) percepatan pada system hidrolik dengan posisi suspense tegak | 56 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| Gambar 5.2 | Grafik perbandingan gaya redam terhadap (a) kecepatan dan (b) percepatan pada system hidrolik dengan posisi suspense miring..... | 57 |
| Gambar 5.3 | Grafik respon (a) voltase dan (b) arus dan (c) daya listrik bangkitan terhadap kecepatan pada system HMERSA dengan posisi suspense tegak dengan variasi frekuensi..... | 58 |
| Gambar 5.4 | Grafik respon (a) voltase dan (b) arus dan (c) daya listrik bangkitan terhadap jarak pada system HMERSA dengan posisi suspense tegak dengan variasi frekuensi..... | 59 |
| Gambar 5.5 | Grafik respon (a) voltase dan (b) arus dan (c) daya listrik bangkitan terhadap kecepatan pada system HMERSA dengan posisi suspense miring dengan variasi frekuensi..... | 60 |
| Gambar 5.6 | Grafik respon (a) voltase dan (b) arus dan (c) daya listrik bangkitan terhadap jarak pada system HMERSA dengan posisi suspense miring dengan variasi frekuensi..... | 61 |
| Gambar 5.7 | Grafik respon (a) perpindahan (b) kecepatan massa sprung pada suspense miring pada <i>quarter car</i> dengan input <i>bump modified</i> | 63 |
| Gambar 5.8 | Grafik respon (a) daya bangkitan (b) voltase (c) arus terhadap waktu system HMERSA suspense tegak pada <i>quarter car</i> dengan input <i>bump modified</i> | 64 |
| Gambar 5.9 | Grafik respon (a) daya bangkitan (b) voltase (c) arus terhadap waktusystem HMERSA suspense miring pada <i>quarter car</i> input <i>bump modified</i> . .. | 65 |
| Gambar 5.10 | Grafik respon gaya redam dengan variasi kecepatan a) 20km/jam (b) 40km/jam (c) 60km/jam terhadap waktu untuk suspense tegak pada system <i>quarter car</i> | 66 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| Gambar 5.11 | Grafik respon gaya redam dengan variasi kecepatan a) 20km/jam (b) 40km/jam (c) 60km/jam terhadap waktu untuk suspense miring pada system <i>quarter car</i> | 67 |
| Gambar 5.12 | Grafik perbandingan respon respon (a) perpindahan (b) kecepatan pada massa <i>sprung</i> terhadap waktu antara system HMERSA dengan suspense tegak dan miring | 68 |
| Gambar 5.13 | Grafik perbandingan respon respon (a) perpindahan (b) kecepatan pada massa <i>sprung</i> terhadap waktu antara system HMERSA dengan suspense tegak dan miring | 69 |
| Gambar 5.14 | Grafik perbandingan respon respon (a) perpindahan (b) kecepatan pada massa <i>sprung</i> terhadap waktu antara system HMERSA dengan suspense tegak dan miring | 70 |
| Gambar 5.15 | Grafik respon respon (a) daya bangkitan (b) voltase (c) arus untuk suspense tegak pada system <i>quarter car</i> | 71 |
| Gambar 5.16 | Grafik respon respon (a) daya bangkitan (b) voltase (c) arus untuk suspense miring pada system <i>quarter car</i> | 72 |
| Gambar 5.17 | Percepatan RMS Body Kendaraan Akibat Input Sinusoidal | 73 |
| Gambar 5.18 | Grafik Perbandingan <i>Displacement Transmissibility</i> antara <i>Quarter Car</i> dengan HMERSA dan konstanta redaman C | 76 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Jumlah lilitan koil vs voltase yang dihasilkan | 9 |
| Tabel 2.2 <i>Displacement of magnet</i> vs voltase yang dihasilkan | 9 |
| Tabel 2.3 Reaksi kenyamanan terhadap percepatan – ISO 2631..... | 20 |
| Tabel 3.1 Parameter untuk simulasi sistem HMERSA..... | 28 |
| Tabel 3.2 Parameter untuk sistem seperempat kendaraan (<i>heavy truck</i>)..... | 35 |
| Tabel 4.1 Hasil Pengujian Generator SOC 50% | 43 |
| Tabel 4.2 Torsi Elektrik yang Dihasilkan untuk Tiap SOC..... | 44 |
| Tabel 5.1 Nilai gaya redam yang dihasilkan pada system hidrolis dengan dan tanpa sudut | 57 |
| Tabel 5.2 Data simulasi Quarter Car dan HMERSA Variasi Kcepatan Kendaraan..... | 74 |
| Tabel 5.3 Data Simulasi Quarter Car dan Konstanta Redaman C Variasi Kcepatan Kendaraan | 75 |

DAFTAR SIMBOL

| | |
|---------------|---|
| D | = Diameter Hydraulic Shock Absorber |
| d1 | = Diameter Tube 1 |
| d2 | = Diameter Tube 2 |
| Dp | = Diameter Pipa |
| L | = Panjang total pipa |
| V | = Viskositas kinematik fluida kerja SAE 10W-30v |
| Hv | = Efisiensi Volumetrik |
| Hm | = Efisiensi Mekanik |
| q | = <i>Displacement</i> motor hidrolik |
| R1 | = Jari – jari roda gigi 1 |
| R2 | = Jari – jari roda gigi 2 |
| Mg1 | = Massa roda gigi 1 |
| Mg2 | = Massa roda gigi 2 |
| J1 | = Momen Inersia Roda Gigi Lurus 1 |
| J2 | = Momen Inersia Roda Gigi Lurus 2 |
| α_l | = Voltase $0 \leq \omega_l \leq 130$ |
| A_l | = Voltase $0 \leq \omega_l \leq 130$ |
| α_l | = Voltase $\omega_2 > 130$ |
| A_l | = Voltase $\omega_2 > 130$ |
| β | = Arus $\omega > 130$ |
| B | = Arus $\omega > 130$ |
| C_{Te} | = Torsi elektrik $\omega > 130$ |
| ε | = Torsi elektrik $\omega > 130$ |
| Ms | = Sprung mass |
| Mus | = Unsprung mass |
| Ks | = Suspension stiffness |
| Kus | = Tire stiffness |
| Cus | = Unsprung damping coefficient |



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kendaraan bermotor menjadi bagian yang sangat penting bagi kehidupan manusia terutama Indonesia. Salah satu contohnya adalah truk, kita ketahui bahwa truk merupakan sebuah kendaraan bermotor yang berfungsi untuk mengangkut barang jarak jauh. Dalam hal ini, sebuah truk dapat berjalan dikarenakan terdapat sebuah mesin di dalamnya. Mesin yang berputar tersebut membutuhkan sebuah bahan bakar untuk bekerja.

Diketahui menurut *the official U.S. government source for fuel economy information*, yakni sumber informasi resmi pemerintah USA tentang bahan bakar menyatakan bahwa energi efektif yang mampu digunakan untuk menggerakkan kendaraan hanya sebesar 18% - 25% dari bahan bakar yang dipakai. Hal ini disebabkan oleh kehilangan energi yang terjadi pada mesin kendaraan yaitu sekitar 70%-80% akibat kerugian panas dari radiator, pembuangan panas dan gesekan. Selain itu pada penelitian Lei Zuo menyatakan bahwa potensi energi yang bisa dihasilkan oleh suspensi dari kendaraan mobil adalah 100w-400w, pada bus 200w-2kw sedangkan truk kisaran antara 1kw-10kw, pada kendaraan militer 800w-10kw dan kereta api 5kw-6kw. Dari data-data di atas menunjukan yaitu pentingnya meningkatkan efisiensi energi pada kendaraan truk. Salah satu alternatif yang dapat dipakai adalah memanfaatkan energi suspensi truk dengan menggunakan HMERSA.

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan dan analisa pemanfaatan energi terbuang pada sistem suspensi truk, menjadi energi listrik dengan menggunakan HMERSA yang sudah dikembangkan oleh laboratorium jurusan vibrasi dan dinamis ITS. Diperoleh juga respon dinamis dari kendaraan truk dengan menggunakan HMERSA dan respon dinamis bila ditinjau dari segi kenyamanan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana respon dinamis dari kendaraan truk yang menggunakan system suspensi (*Hydro- Magneto Electro Regenerative Shock Absorber*) HMERSA akibat eksitasi profil jalan ?
2. Bagaimana energi bangkitan yang dihasilkan dari kendaraan truk yang menggunakan system suspensi (*Hydro- Magneto Electro Regenerative Shock Absorber*) HMERSA akibat eksitasi profil jalan ?
3. Bagaimana menganalisa hasil simulasi berupa respon dinamis dari pengendara truk ditinjau dari standar kenyamanan ?

1.3 Batasan Masalah

Beberapa hal yang menjadi batasan masalah dalam tugas akhir ini, yaitu :

1. Untuk simulasi, hanya menggunakan seperempat kendaraan (*quarter car*). Kendaraan yang digunakan truk (*heavy truck*).
2. Fluida kerja pada silinder hidrolik diasumsikan *incompressible flow*.
3. Persamaan generator yang digunakan adalah persamaan yang dilinierisasi.
4. Aliran fluida kerja pada silinder hidrolik diasumsikan laminar.
5. Kriteria kenyamanan ditentukan dengan standart internasional ISO 2631.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mempelajari dan menganalisa respon dinamis dari kendaraan truk yang menggunakan system suspensi

(Hydro- Magneto Electro Regenerative Shock Absorber)
HMERSA akibat eksitasi profil jalan.

2. Untuk mempelajari dan menganalisa energi bangkitan yang dihasilkan dari kendaraan truk yang menggunakan system suspensi *(Hydro- Magneto Electro Regenerative Shock Absorber)* HMERSA akibat eksitasi profil jalan.
3. Untuk mempelajari dan menganalisa hasil simulasi berupa respon dinamis dari pengendara truk ditinjau dari standar kenyamanan.

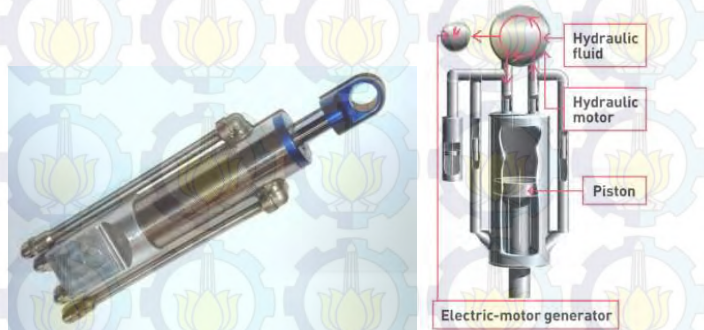


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Suspensi Regenerative

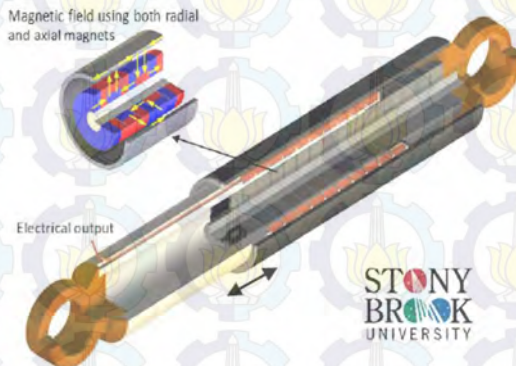
Pada tahun 2009, Paul Evans dari *Massachusetts Institute of Technology* telah menciptakan shock absorber yang mampu menghasilkan energi listrik ditunjukkan pada gambar. Prinsip kerja *shock absorber* ini adalah dengan menggunakan sistem hidrolis, dimana sistem hidrolis ini berfungsi memaksakan cairan untuk masuk menuju turbin dan kemudian turbin akan bergerak memutar generator. Sistem pada *shock absorber* ini dikontrol oleh sebuah rangkaian elektronik aktif yang berfungsi untuk mengoptimalkan redaman agar lebih nyaman dari peredam konvensional. Berdasarkan hasil dari pengujian *regenerative shock absorber* ini mampu menghasilkan daya sebesar 200 watt.



Gambar 2.1 Hydraulic Regenerative Shock Absorber

Pada tahun 2010, Lei Zuo dari *Stony Brook University* dalam penelitiannya menyatakan bahwa hanya 10-16% energi digunakan untuk mendorong kendaraan dan sisanya terbuang menjadi getaran. Oleh Karena itu Zuo mendesain alat pemanen energi pada suspensi kendaraan. Getaran yang terbuang pada suspensi kendaraan dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik. Alat ini dikembangkan dengan dua jenis prinsip pembangkit energi listrik yang berbeda, yaitu *linier elektromagnetik absorber*

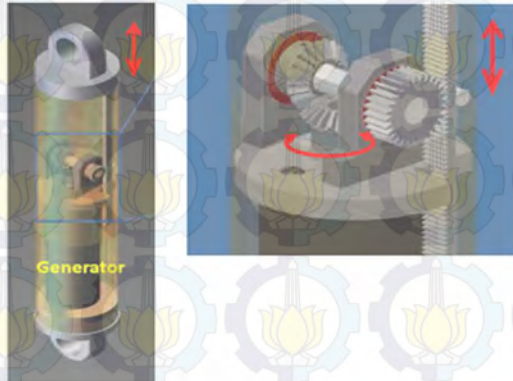
dan *rotational absorber*. Pada *linier elektromagnetik absorber*, terdapat dua komponen magnet yang utama, yaitu magnet *axial* dan magnet *radial*. Pada saat *linier elektromagnetik absorber* dieksitasi oleh permukaan jalan yang bergelombang, maka akan diikuti oleh gerakan translasi magnet keatas dan kebawah. Selanjutnya gerakan translasi magnet akan melewati kumparan yang terdapat pada *linier elektromagnetik* sehingga akan membangkitkan energi listrik. Daya yang dihasilkan oleh linier elektromagnetik ini sebesar 2 – 8 watt pada *prototype* dengan skala 1:2. Pada ukuran aslinya alat ini diprediksi mampu menghasilkan daya sebesar 64 watt jika dipasang pada keempat roda kendaraan.



Gambar 2.2 Linear Electromagnetic Absorber

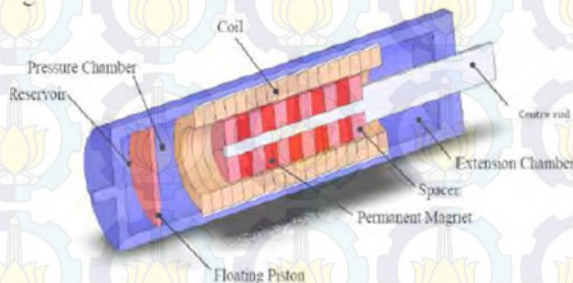
Pada *rotational absorber*, prinsip kerja yang digunakan adalah dengan mengubah gerakan translasi yang terjadi pada kendaraan menjadi gerakan rotasi. Perubahan gerakan translasi ke gerakan rotasi didapat dengan memanfaatkan mekanisme pasangan roda gigi *rack* dan *spur*. Kemudian agar gerakan rotasi tetap kontinu digunakan *bevel gears*. Gerakan rotasi ini dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik dengan menghubungkannya ke generator. Satu unit *rotational absorber* mampu menghasilkan daya 80 watt pada kecepatan 0.2 m/s. jika

dipasang pada ke empat roda kendaraan diprediksi mampu menghasilkan daya sebesar 320 watt.



Gambar 2.3 Rotational Absorber dengan Prinsip Roda Gigi

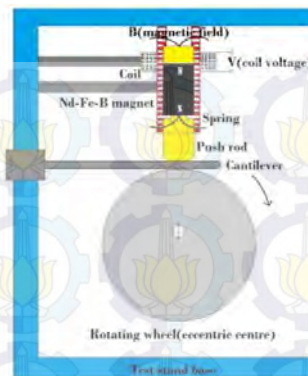
Rahul Uttamrao Patil dari *Rajarambapu Institute of technology* membahas tentang *electromagnetic regenerative shock absorber*. Konsep dari alat ini adalah menggunakan konfigurasi dari generator linier. Alat ini mengonversi energi kinetik dari getaran kendaraan yang berasal dari roda dan massa kendaraan menjadi energi listrik. *Electromagnetic regenerative shock absorber* terdiri dari magnet dan kumparan kawat. Rahul memvariasikan dimensi dari magnet dan kawat.



Gambar 2.4 Electromagnetic Regenerative Shock Absorber

Hasil penelitian yang dilakukan untuk variasi tegangan regenerasi terhadap frekuensi eksitasi dan amplitudo menunjukkan bahwa untuk masukan frekuensi 6 Hz dan amplitudo 20 mm, tegangan dihasilkan untuk 8 coil set 0° fase dan 8 coil set 90° fase masing- masing adalah 5.5 dan 5 volt. Skala penuh *single regeneratif shock absorber* mampu menghasilkan 8 W pada kecepatan 0.25 – 0.5 m/s Didapatkan bahwa frekuensi *regenerated voltage* tidak selalu memiliki frekuensi yang sama dengan eksitasi. Sebaliknya, bentuk gelombang *regenerated voltage* akan tergantung pada frekuensi eksitasi, amplitudo dan keseimbangan posisi. Kesimpulan keseluruhan pekerjaan penelitian ini adalah bahwa adalah mungkin untuk mendapatkan energi dari kendaraan di jalan bergelombang.

Vikram Kedambadi Vasu, dkk dari *Yellamma Dasapp Institute of Technology* telah melakukan penelitian tentang *regenerative magnetic shock absorbers*. Pada gambar 2.5 terlihat bahwa komponen alat ini terdiri *coil* (lilitan), *spring*, *push rod*, *rotating wheel*, motor, dan *cantilever*. Apabila motor berputar maka *rotating wheel* berputar, sehingga *cantilever* bergerak mendorong *push rod*, kemudian *push rod* bergerak mendorong magnet sehingga magnet bergerak keatas. Disebabkan putaran eksentris *rotating wheel* maka magnet dapat bergerak naik dan turun(relatif) terhadap lilitan. Gerakan relatif antara magnet terhadap lilitan tersebut menyebabkan induksi elektromagnetik sehingga menghasilkan tegangan listrik pada lilitan



Gambar 2.5 Skema regenerative magnetic shock absorber

Tabel 2.1. Jumlah lilitan koil vs voltase yang dihasilkan

| No. | Jumlah lilitan koil | Volt yang dihasilkan (volt) |
|-----|---------------------|-----------------------------|
| 1 | 1500 | 2.7 |
| 2 | 2000 | 6.5 |
| 3 | 2500 | 10.3 |

Pada kondisi ini, displacement of magnet tetap pada 8 mm

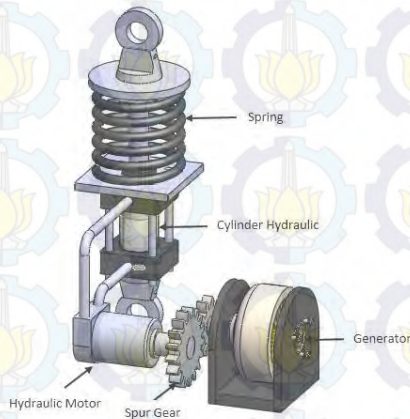
Tabel 2.2. *Displacement of magnet* vs voltase yang dihasilkan

| No. | <i>Displacemet of magnet</i> (mm) | Voltase yang dihasilkan (volt) |
|-----|-----------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 5 | 7.2 |
| 2 | 8 | 10.3 |
| 3 | 10 | 11.6 |

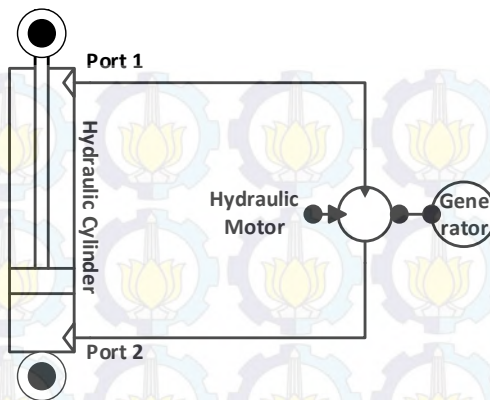
Tegangan listrik maksimum yang dihasilkan adalah 11.6 V dengan jumlah lilitan koil 2500 lilitan dan *displacement of magnet* pada kecepatan motor 1420 rpm. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah lilitan koil dan *displacement of magnet* maka semakin tinggi tegangan listrik yang dihasilkan

Tahun 2014, Kaspul Anuar dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember merancang *hydraulic motor regenerative shock absorber* (HM RSA). Pada gambar 2.6 terlihat bahwa

komponen *hydraulic motor regenerative shock absorber* ini terdiri dari *spring*, *cylinder hydraulic*, *hydraulic motor*, *spur gear*, dan generator. Prinsip kerja dari alat ini adalah memanfaatkan energi kinetik pada gerakan suspensi kendaraan. Energi tersebut ditransfer ke sebuah motor hidrolik. Gaya yang ditransfer dari motor hidrolik kemudian ditransmisikan oleh susunan roda gigi yang berfungsi untuk meningkatkan putaran generator. Putaran generator tersebut akan menghasilkan energi bangkitan. Dayalistrik yang dihasilkan HMRSA ini berkisar antara 0.024 watt sampai 1.1078 watt dengan model $\frac{1}{4}$ kendaraan.

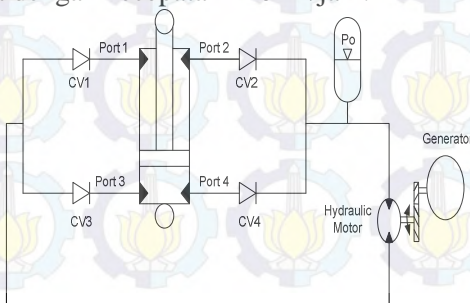


Gambar 2.6 Konstruksi hydraulic motor regenerative shock absorber (HMRSA)



Gambar 2.7 Skema HMRSA

Pada tahun 2015, Sawung mahasiswi dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember meneruskan penelitian dari Kaspul Anuar tentang HMRSA. Konsep dari alat tetap sama yaitu memanfaatkan energi kinetik pada suspensi gerakan kemudian energi ditrasnfer ke motor hidrolik, yang membedakan adalah Sawung memvariasikan tekanan awal pada akumulator sebesar 3,4,5 dan 6 bar. Kesimpulan yang didapatkan bahwa dengan adanya akumulator, gaya redam yang duhasilkan oleh system hidrolik lebih besar. Dan semakin besar tekanan awal pada akumulator, maka gaya redam yang dihasilkan juga lebih besar. System HMRSA ini dapat menghasilkan listrik terbesar sekitar 91,4679 watt dengan kecepatan 120km/jam.



Gambar 2.8 Skema HMRSA untuk penambahan akumulator

2.2 Motion of Base

Suatu waktu sistem pegas-massa-peredam mengalami gerak harmonik, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8(a). Eksitasi input $Y(t)$ menyatakan perpindahan dari *base*, dan $x_1(t)$ menyatakan perpindahan massa dari posisi kesetimbangan statis pada waktu t . Maka perpanjangan dari pegas adalah $(x-y)$ dan kecepatan relatif antara kedua ujung damper adalah $(\dot{x} - \dot{y})$. Dari *free body diagram* yang ditunjukkan pada gambar 2.9 (b), didapatkan persamaan gerak:

$$m\ddot{x} + c(\dot{x} - \dot{y}) + k(x - y) = 0 \quad (2.1)$$

Jika $y(t) = Y \sin \omega t$, maka persamaan (2.1) menjadi :

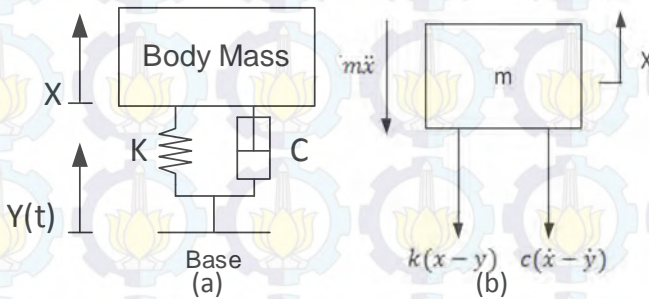
$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = ky + c\dot{y} = kY \sin \omega t + c\omega Y \cos \omega t = A \sin(\omega t - \alpha) \quad (2.2)$$

Dimana $A = Y\sqrt{k^2 + (c\omega)^2}$ dan $\alpha = \tan^{-1} \left[-\frac{c\omega}{k} \right]$.

Ini menunjukkan bahwa pemberian eksitasi ke *base* setara dengan memberikan gaya harmonik sebesar A ke massa. Sehingga respon steady state dari massa, $x_p(t)$, dapat dinyatakan sebagai:

$$x_p(t) = \frac{Y\sqrt{k^2 + (c\omega)^2}}{[(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2]^{1/2}} \sin(\omega t - \phi_1 - \alpha) \quad (2.3)$$

Dimana $\phi_1 = \tan^{-1} \left[\frac{c\omega}{k - m\omega^2} \right]$



Gambar 2.9 *Base Excitation* (a) Sistem fisik *base excitation* (b) Free Body Diagram untuk *base excitation*

Menggunakan identitas trigonometri, persamaan (2.3) dapat ditulis secara lebih mudah sebagai:

$$x_p(t) = X \sin(\omega t - \phi) \quad (2.4)$$

Dimana X dan ϕ ditentukan oleh:

$$\frac{X}{Y} = \left[\frac{k^2 + (c\omega)^2}{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2} \right]^{1/2} \quad (2.5)$$

Dan,

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{mc\omega^3}{k(k - m\omega^2) + (c\omega)^2} \right] \quad (2.6)$$

2.3 Persamaan pada Mekanisme Hidrolik

2.3.1 Persamaan Bernaulli

Prinsip Bernoulli adalah sebuah istilah di dalam mekanika fluida yang menyatakan bahwa pada suatu aliran fluida, peningkatan pada kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut. Prinsip ini sebenarnya merupakan penyederhanaan dari persamaan Bernoulli yang menyatakan bahwa jumlah energi pada suatu titik di dalam suatu aliran tertutup sama besarnya dengan jumlah energi di titik lain pada jalur aliran yang sama. Prinsip ini diambil dari nama ilmuwan Belanda/Swiss yang bernama *Daniel Bernoulli*. Secara umum terdapat dua bentuk persamaan Bernoulli, yaitu tak-termampatkan (*incompressible flow*), dan fluida termampatkan (*compressible flow*).

Aliran Tak-termampatkan

Aliran tak-termampatkan adalah aliran fluida yang dicirikan dengan tidak berubahnya besaran kerapatan massa (densitas) dari fluida di sepanjang aliran tersebut. Contoh fluida tak-termampatkan adalah: air, berbagai jenis minyak, emulsi, dll.



Gambar 2.10 Penerapan hukum bernoulli pada penampang

Persamaan Bernoulli:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gh_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gh_2 + h_T \quad (2.7)$$

p_1 : Tekanan fluida pada kondisi 1 (N/m²)

p_2 : Tekanan fluida pada kondisi 2 (N/m²)

v_1 : Kecepatan aliran fluida pada kondisi 1(m/s)

v_2 : Kecepatan aliran fluida pada kondisi 2(m/s)

h_1 : Tinggi pipa kondisi 1 (m)

h_2 : Tinggi pipa kondisi 2 (m)

g : gravitasi bumi (9.8 m/s²)

h_T : *Head loss* total

2.3.2 Headloss

Arti *head loss* sendiri adalah hilangnya energi mekanik persatuan massa fluida yang terjadi pada aliran internal seperti pada pemipaan. Head loss total adalah penjumlahan dari *head loss* mayor dan *head loss* minor

- *Head loss* mayor dipengaruhi oleh *friction factor* atau gesekan fluida dengan permukaan pipa di sepanjang aliran, diameter pipa, dan kecepatan aliran. Seperti ditunjukkan dalam persamaan berikut.

$$h_l = \frac{64}{Re} \frac{L}{D} \frac{v^2}{2} \quad (2.8)$$

Head loss minor merupakan kerugian energi yang diakibatkan karena pintu masuk, fitting, perubahan luasan,dsb. Ditunjukkan dalam persamaan :

$$h_{lm} = f \frac{L_e}{D} \frac{v^2}{2} \quad (2.9)$$

$$h_{lm} = K \frac{v^2}{2} \quad (2.10)$$

Keterangan :

h_T : *Head loss* total (m)

Re : Bilangan Reynold

L : Panjang pipa (m)

D : Diameter Pipa (m)

v : Kecepatan aliran fluida pada pipa (m/s)

f : Faktor gesekan (berdasarkan tabel)

L_e/D : Panjang ekuivalen (berdasarkan tabel)

K : Koefisien *minor loss* (berdasarkan tabel)

2.3.3 Hukum Kekekalan Massa

Hukum kekekalan massa atau sering disebut sebagai hukum Lavoiser adalah hukum yang menyatakan bahwa reaksi yang melibatkan perpindahan materi dan energi pada system tertutup, massa system akan tetap konstan. Kuantitas massa tidak dapat berubah jika tidak ditambahkan dengan atau dilepaskan secara sengaja. Dengan demikian massa bersifat kekal. Hukum kekekalan massa dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho \, dV + \frac{\partial}{\partial t} \int_{cs} \rho \, V \, dA \quad (2.11)$$

Dengan asumsi aliran pada Control Volume shock absorber adalah $dV = 0$, maka persamaan akan menjadi:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{cs} \rho \, V \, dA \quad (2.12)$$

2.3.4 Hukum Pascal

Sistem hidrolik menggunakan prinsip Pascal (1653) yang menyatakan bahwa tekanan yang bekerja pada setiap bagian gas atau fluida pada ruang tertutup akan merambat kebagian lain dalam ruangan tertutup ini dengan kekuatan yang sama, secara matematis dinyatakan :

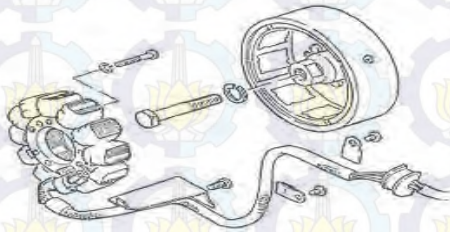
$$P = \frac{F}{A} \quad (2.13)$$

2.4 Generator Listrik

Generator adalah sebuah alat yang merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator listrik menginduksi gaya gerak listrik (GGL) atau EMF dengan memutar kumparan dalam medan magnet. Energi mekanik yang bekerja pada generator bisa berasal dari putaran mesin, turbin uap, turbin gas, turbin air atau turbin gas.

Alternator sebagai generator

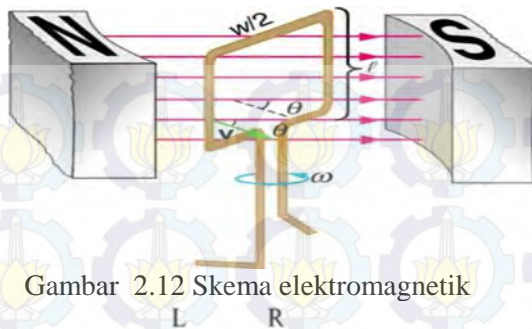
Alternator pada sepeda motor berfungsi untuk menghasilkan energi listrik. Prinsip kerja dari alternator sepeda motor sama dengan generator, alat ini berguna untuk merubah gerakan rotasi dari mesin menjadi energi listrik. Konstruksi dari Alternator sepeda motor terdiri dari magnet permanen (rotor) dan kumparan kawat tembaga (stator). Magnet permanen biasanya dipasang pada poros *flywheel* dan kumparan kawat tembaga terpasang pada tutup mesin. Sehingga yang berputar adalah rotor (magnet). Pada rancang bangun alat *Regenerative Shock Absorber* ini, digunakan alternator sepeda motor sebagai pembangkit arus listrik karena memiliki karakteristik arus yang lebih besar jika dibandingkan dengan generator dari motor DC.



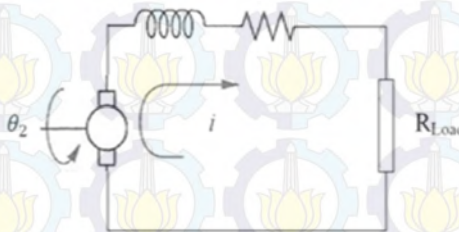
Gambar 2.11 Alternator AC sepeda motor

Prinsip kerja generator

Elektromagnetik adalah medan magnet yang timbul disekeliling kawat penghantar yang dialiri arus listrik. Sebaliknya, perbedaan besar medan magnet di dekat kawat penghantar juga dapat menghasilkan beda potensial listrik. Besarnya medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik disebut induksi magnet.



Gambar 2.12 Skema elektromagnetik



Gambar 2.13 Skema generator listrik

Aliran listrik di kabel loop mengalami gaya magnet karena mereka bergerak dalam medan magnet. Listrik di kabel vertikal mengalami gaya yang sejajar dengan kawat, menyebabkan arus. Namun, kawat yang berada di bagian atas dan bawah mengalami gaya yang tegak lurus dengan kawat, sehingga gaya ini tidak menyebabkan arus. Gaya induksi EMF dapat dihitung hanya dengan memperhitungkan kabel vertikal. EMF dapat dirumuskan menjadi $EMF = B \ell \theta$, dimana kecepatan θ tegak lurus terhadap medan magnet B . Disini, kecepatan adalah pada sudut θ terhadap B , sehingga komponen tegak lurus terhadap B adalah $\theta \sin \gamma$. Jadi dalam hal ini EMF diinduksi pada setiap sisi adalah $EMF = B \ell \theta \sin \gamma$, dan mereka berada dalam arah yang sama. Jumlah EMF keseluruhan sekitar loop dimana N adalah jumlah lilitan kumparan:

$$\varepsilon = 2NBl\dot{\theta} \sin \gamma R \quad (2.14)$$

Selain menghitung tegangan listrik yang dihasilkan, juga dihitung arus listrik (i) berdasarkan torsi yang memutar generator (T_e). Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$T_e = 2NBliR \quad (2.15)$$

2.5 Motor Hidrolik



Gambar 2.14 Motor hidrolik

Fungsi motor hidrolik adalah untuk merubah tekanan hidrolik menjadi torsi. Motor hidrolik yang dipakai pada penelitian ini adalah motor hidrolik jenis gerotor. Motor ini terdiri atas dua rotor di dalam casingnya. Dimana satu roda gigi berputar pada roda gigi lainnya dengan sumbu putar yang tidak sama, fluida bertekanan masuk pada inlet motor hidrolik, kemudian memutar roda gigi sehingga tercipta perbedaan tekanan dan menciptakan putaran pada sumbu gigi driven.

Rumus yang digunakan untuk motor hidrolik :

$$\omega = \frac{Q_m \eta_v}{q} \quad (2.16)$$

$$T_m = \Delta p_m q \eta_m \quad (2.17)$$

Dimana :

ω : kecepatan putaran motor hidrolik (rad/s)

T_m : Torsi motor hidrolik (N.m)

Q_m : debit aliran fluida yang masuk ke motor hidrolik (m³/s)

q : perpindahan motor hidrolik (cc/rev)

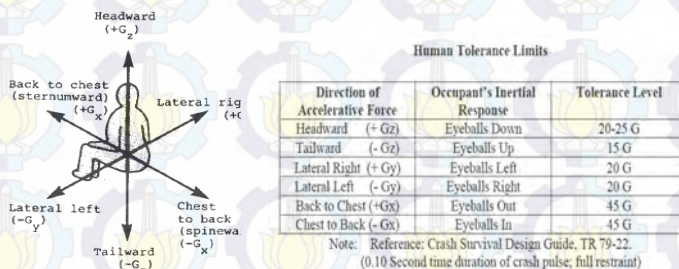
p_m : tekanan pada motor hidrolik (Pa)

η_v : efisiensi volumetrik

η_m : efisiensi mekanik

2.6 Pengaruh Percepatan Kendaraan Terhadap kenyamanan

Gerakan utama yang dialami pengemudi selama mengemudi adalah berupa percepatan atau perlambatan dan getaran. Unit dasar yang digunakan sebagai ukuran dari percepatan yang dialami manusia adalah berbasis pada gaya gravitasi yang diringkas G. Seseorang yang jatuh bebas dimana percepatan jatuhnya adalah $9,81 \text{ m/s}^2$ dikatakan mengalami percepatan sebesar 1 G. Toleransi manusia terhadap percepatan ditunjukkan pada gambar 2.15 Gambar tersebut menunjukkan level percepatan rata-rata untuk bermacam arah gerakan yang mampu ditahan oleh tubuh manusia. Informasi ketahanan badan manusia terhadap percepatan merupakan hal yang sangat penting sebagai referensi dalam perancangan ketahanan bodi kendaraan terhadap *impact*. Jika pada saat kendaraan mengalami *impact* dimana pengemudi atau penumpang mendapat percepatan atau perlambatan melebihi yang mampu didukung oleh badan, maka akan dapat membahayakan pengemudi dan penumpang kendaraan tersebut.



Gambar 2.15 Ketahanan badan manusia terhadap percepatan linier yang dapat diterima

Untuk kriteria kenyamanan berdasarkan besar percepatan menurut standart ISO 2631, ditampilkan pada tabel berikut:

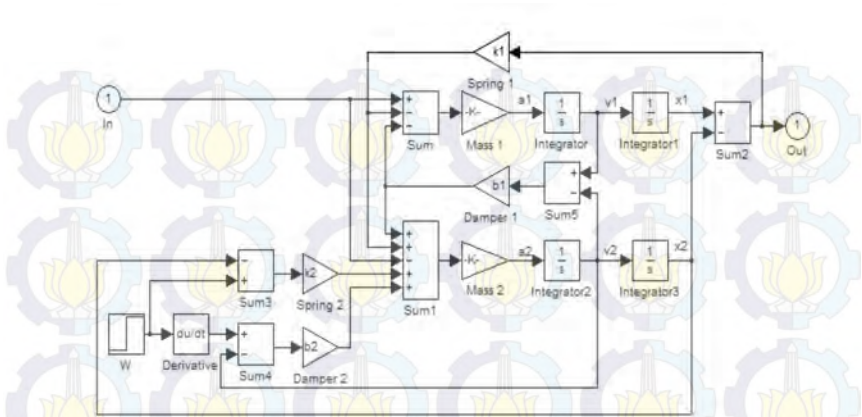
Tabel 2.3 Reaksi kenyamanan terhadap percepatan – ISO 2631

| No | Getaran | Keterangan |
|----|--|--------------------------|
| 1 | $a < 0.315 \text{ m/s}^2$ | Tidak ada keluhan |
| 2 | $0.315 \text{ m/s}^2 < a < 0.63 \text{ m/s}^2$ | Sedikit tidak nyaman |
| 3 | $0.5 \text{ m/s}^2 < a < 0.1 \text{ m/s}^2$ | Agak tidak nyaman |
| 4 | $0.8 \text{ m/s}^2 < a < 0.16 \text{ m/s}^2$ | Tidak nyaman |
| 5 | $1.25 \text{ m/s}^2 < a < 2.5 \text{ m/s}^2$ | Sangat tidak nyaman |
| 6 | $a > 2 \text{ m/s}^2$ | Amat sangat tidak nyaman |

2.7 Simulink Matlab

Simulink pada Matlab adalah salah satu fitur dari matlab untuk mensimulasi suatu desain atau model yang bersifat dinamis ataupun tertanam, simulasi ditujukan untuk mengukur kinerja dari suatu desain atau model sistem yang telah dirancang yang sesuai hasil yang diinginkan.

Dalam penelitian ini respon sprung mass dan energi bangkitan yang didapat dari pergerakan sistem suspensi akan dianalisa melalui eksperimen dan simulasi menggunakan simulink. Proses simulasi dengan menggunakan Simulink diawali dengan membuat persamaan matematika dari model regenerative shock absorber model quarter kendaraan. Hasil dari persamaan matematika tersebut diubah kedalam bentuk state variable. Selanjutnya state variable diterjemahkan kedalam block diagram pada Simulink matlab.



Gambar 2.16 Contoh block diagram Simulink matlab

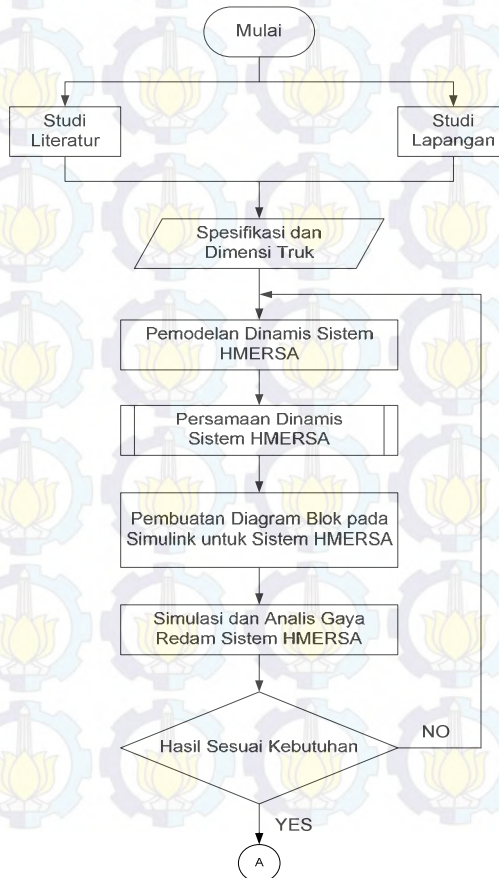
Setelah state variable diterjemahkan ke dalam block diagram, seluruh parameter yang diketahui di input dan di running agar respon pada *sprung mass* dan energi bangkitan generator dapat dilihat hasilnya.

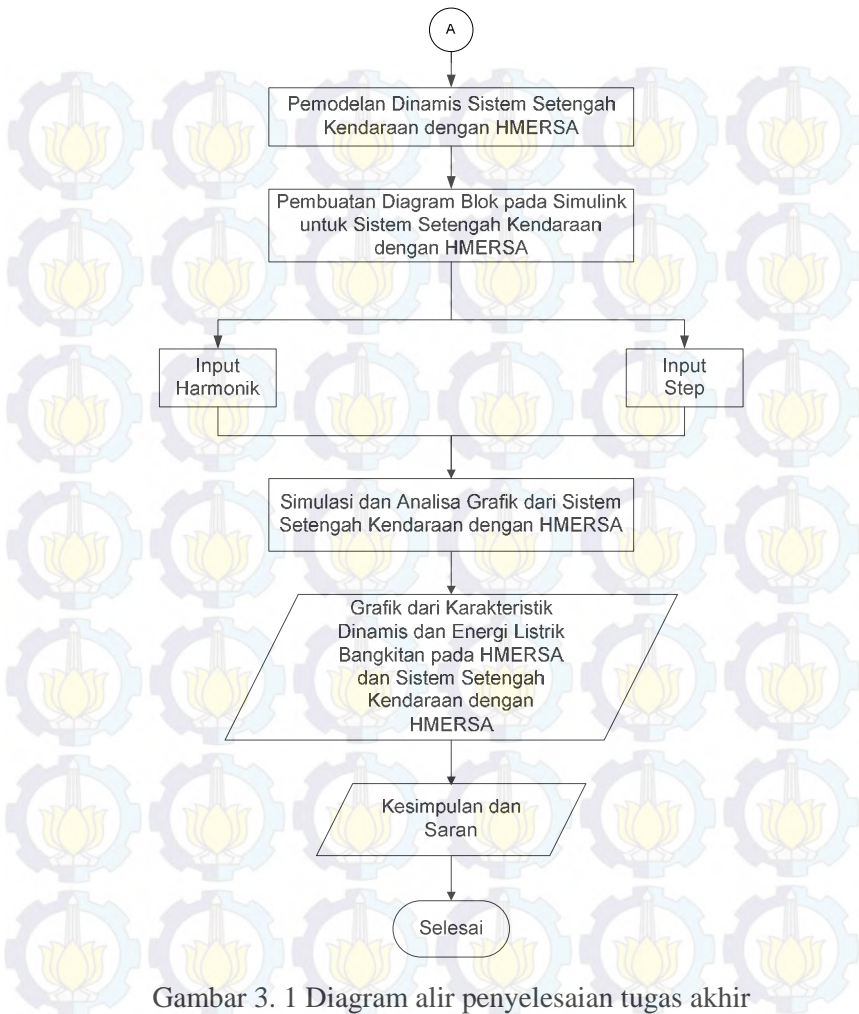


BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian Tugas Akhir dilakukan untuk mengetahui respon dinamis berupa perpindahan, kecepatan, dan percepatan terhadap sistem *Hydro Magneto Electric Regenerative Shock Absorber* (HMERSA) pada kendaraan truk. Dalam menganalisis dilakukan beberapa langkah yang ditunjukkan oleh diagram alir pada gambar 3.1.





Gambar 3. 1 Diagram alir penyelesaian tugas akhir

Metode pelaksanaan tugas akhir ini secara umum ditunjukkan pada gambar 3.1, dimulai dari studi literatur mengenai HMERSA dan studi lapangan untuk mengetahui letak suspensi sebenarnya pada kendaraan truk. Selanjutnya dilakukan pemodelan dinamis untuk sistem HMERSA. Kemudian membuat

persamaan gerak dari sistem tersebut. Setelah menyelesaikan model matematis, dibuat diagram blok pada MATLAB simulink berdasarkan persamaan gerak sistem didapatkan grafik karakteristik gaya redaman. Untuk selanjutnya, sistem HMERSA dipasang pada suspensi pada bagian depan dan belakang kendaraan truk. Dengan langkah yang sama, pertama membuat pemodelan fisik dan matematis dilanjutkan dengan membuat persamaan gerak. Kemudian pembuatan blok diagram pada MATLAB simulink dengan input gaya step dan harmonik untuk mengetahui respon dinamis dan energi bangkitan dari sistem.

3.1 Studi Literatur dan Studi Lapangan

Dalam penulisan Tugas Akhir ini diperlukan referensi-referensi yang dapat menunjang dalam menganalisis sistem *Hydro- Magneto Electric Regenerative Sistem* (HMERSA). Oleh karena itu, dilakukan studi literatur untuk menambah wawasan, pengetahuan, dan landasan mengenai permasalahan yang akan dibahas. Adapun materi dari studi literatur yang mendukung dalam penulisan Tugas Akhir ini yaitu mekanika getaran dasar, sistem hidrolik, permodelan sistem dinamis, serta blok simulasi pada program Simulink Matlab. Nilai parameter yang digunakan adalah berupa data teknis dari RSA yang meliputi dimensi dan massa sistem seperempat kendaraan komponen hidrolik berupa silinder hidrolik, pipa, motor hidrolik, sepasang *spur gear* dan generator elektromagnetik.

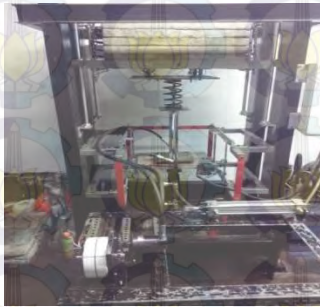
Referensi untuk studi literatur didapat dari buku, jurnal-jurnal ilmiah, maupun penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan. Sedangkan studi lapangan meliputi penentuan dimensi suspensi depan dan belakang pada truk beserta massa sistem kendaraan.

3.2 Pemodelan dan simulasi sistem HMERSA

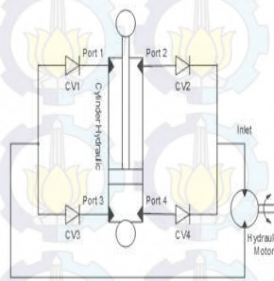
3.2.1 Pemodelan Fisik Sistem HMERSA

Dalam tugas akhir ini akan dianalisis karakteristik gaya redaman dan energi bangkitan dari sistem HMERSA dengan

input *harmonic* dan *step*. Berikut gambar *prototype* dan skema dari HMERSA.



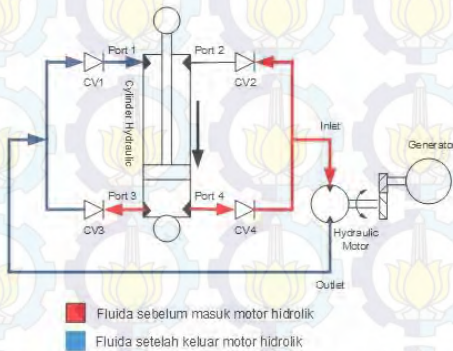
(a)



(b)

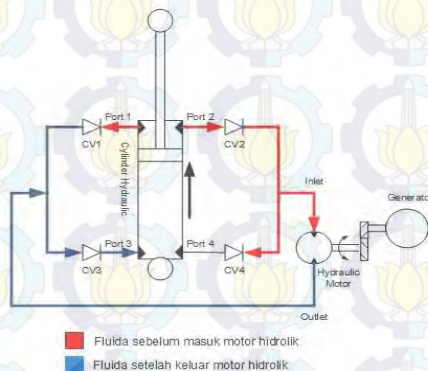
Gambar 3.2 (a) Prototipe HMERSA dan (b) Skema HMERSA

Berikut aliran fluida pada sistem HMERSA saat kondisi kompresi ditunjukkan pada gambar dibawah



Gambar 3. 3 Aliran fluida saat piston bergerak ke bawah (kompresi)

Proses kompresi dapat dilihat pada gambar 3.3 di bawah ini. Ketika piston bergerak kebawah (kompresi), fluida pada chamber 2 silinder hidrolik mengalir keluar melalui port 3 dan 4 menuju check valve CV3 dan CV4. Namun pada CV3, aliran tertahan karena pengaruh dari check valve yang searah sehingga aliran fluida mengalir melalui CV4 lalu masuk ke inlet motor hidrolik. Sebagian fluida mengalir ke CV2 akan tetapi tertahan pada CV2 karena efek *check valve*. Aliran fluida yang masuk ke motor hidrolik menyebabkan motor hidrolik berputar dan putaran tersebut diteruskan ke generator melalui mekanisme pasangan roda gigi. Selanjutnya, aliran fluida keluar melalui outlet motor hidrolik menuju CV1 dan CV3. Aliran fluida tidak dapat mengalir melalui CV3 karena tertahan oleh fluida yang tekanannya lebih besar yang berasal dari port 3 silinder hidrolik. Sehingga fluida mengalir ke CV1 menuju port 1 silinder hidrolik.



Gambar 3. 4 Aliran fluida saat piston bergerak ke atas (ekspansi)

Pada saat piston bergerak keatas (ekspansi), maka fluida yang terdapat pada silinder hidrolik keluar melalui port 1 dan port 2 menuju *check valve* CV1 dan CV2. Aliran fluida tertahan pada CV1 karena efek dari *check valve* tersebut, maka aliran fluida mengalir melalui CV2 lalu masuk ke inlet motor hidrolik. Sebagian fluida mengalir ke CV4 akan tetapi tertahan pada CV4

karena efek *check valve*. Aliran fluida yang masuk ke motor hidrolik menyebabkan motor hidrolik berputar dan putaran tersebut diteruskan ke generator melalui mekanisme pasangan roda gigi. Selanjutnya, aliran fluida keluar melalui outlet motor hidrolik menuju CV1 dan CV3. Aliran fluida tidak dapat mengalir melalui CV1 karena tertahan oleh fluida yang tekanannya lebih besar yang berasal dari port 1 silinder hidrolik. Sehingga fluida mengalir ke CV3 menuju port 3 silinder hidrolik.

3.2.2 Pembuatan Blok Simulasi Sistem HMERSA

Setelah mendapatkan persamaan gerak dari sistem, langkah selanjutnya yaitu membuat blok simulasi. Parameter yang dibutuhkan dalam pembuatan blok simulasi system dapat dilihat pada table 3.1.

Tabel 3. 1 Parameter untuk simlasi sistem HMERSA

| Keterangan | Simbol | Nilai | Satuan |
|---|----------|----------|-------------------|
| PARAMETER HIDROLIS | | | |
| Diameter Hydraulic Shock Absorber | D | 0.05 | m |
| Diameter Tube 1 | d1 | 0.02 | m |
| Diameter Tube 2 | d2 | 0.02 | Kg/m ³ |
| Diameter Pipa | Dp | 0.01 | m/s ² |
| Panjang total pipa | L | 1.75 | m |
| Viskositas kinematik fluida kerja SAE 10W-30v | v | 0,000069 | m ² /s |
| PARAMETER MOTOR HIDROLIK | | | |
| Efisiensi Volumetrik | η_v | 0.88 | |

| | | | |
|---|---------------|----------------------|--------|
| Efisiensi Mekanik | η_m | 0.9 | |
| <i>Displacement</i> motor hidrolik | q | 0.0000082 | Cc/rev |
| PARAMETER KOMPONEN GEAR MEKANIK | | | |
| Jari – jari roda gigi 1 | R_1 | 0,0575 | m |
| Jari – jari roda gigi 2 | R_2 | 0,0225 | m |
| Massa roda gigi 1 | Mg1 | 0.3429 | kg |
| Massa roda gigi 2 | Mg2 | 0.0582 | kg |
| Momen Inersia Roda Gigi Lurus 1 | J1 | 0.00056685 | Kg.m2 |
| Momen Inersia Roda Gigi Lurus 2 | J2 | 0.00001473 | Kg.m2 |
| PARAMETER GENERATOR (hasil pengujian SOC 50%) | | | |
| Voltase $0 \leq \omega_l \leq 130$ | α_l | 0.174249 | - |
| Voltase $0 \leq \omega_l \leq 130$ | A_l | -10.4598 | - |
| Voltase $\omega_2 > 130$ | α_l | 0.0061 | - |
| Voltase $\omega_2 > 130$ | A_l | 11.4822 | - |
| Arus $\omega > 130$ | β | 0.003956 | - |
| Arus $\omega > 130$ | B | -0.64816 | - |
| Torsi elektrik $\omega > 130$ | C_{Te} | $9.14 \cdot 10^{-4}$ | - |
| Torsi elektrik $\omega > 130$ | ε | -0.11885 | - |

3.2.3 Analisis Grafik Sistem HMERSA

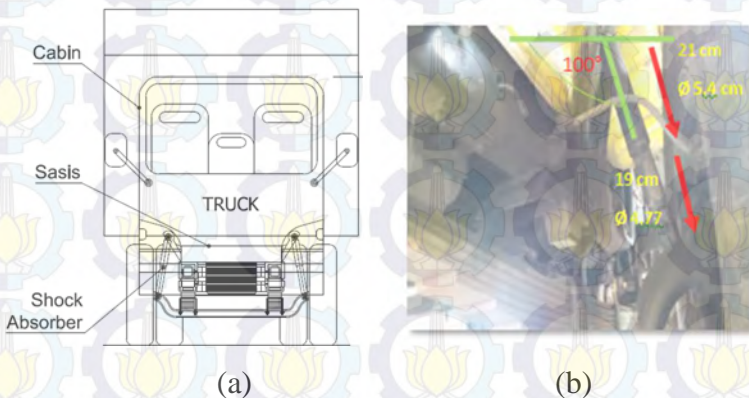
Dari simulasi yang telah dilakukan untuk sistem HMERSA ini, akan didapatkan grafik karakteristik gaya redaman, yaitu berupa grafik gaya redaman terhadap perpindahan maupun kecepatan.

Setelah itu grafik-grafik tersebut dianalisis dan diambil kesimpulan. Kemudian dipilih salah satu hasil dalam variasi silinder hidrolik tersebut untuk nantinya digunakan sebagai parameter HMERSA pada simulasi setengah kendaraan.

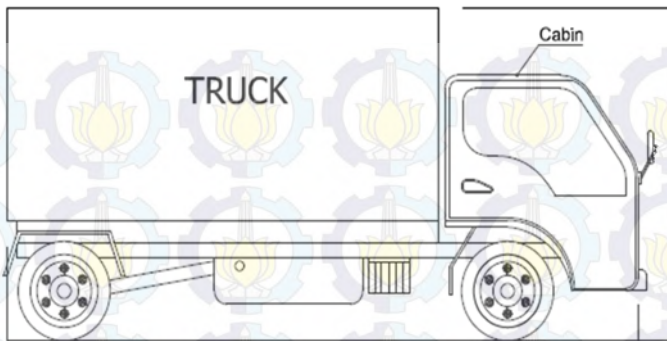
3.3 Pemodelan dan Simulasi Sistem Seperempat Kendaraan dengan HMERSA

3.3.1 Pemodelan Matematis dan Pembuatan Persamaan dari Sistem HMERSA

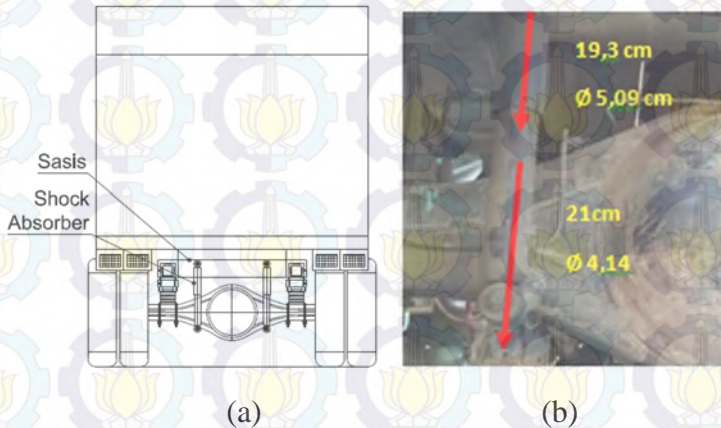
Selanjutnya akan dianalisis respon dinamis dari kendaraan truk dengan input eksitasi berupa step dan harmonik. Berikut pemodelan fisik sistem tersebut:



Gambar 3.5 (a) Model Fisik Truk Tampak Depan (b) Suspensi Truk Tampak Depan



Gambar 3. 6 Model fisik truk tampak samping

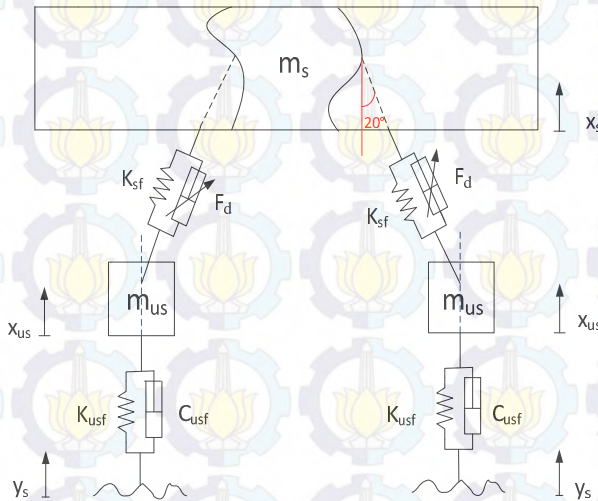


Gambar 3.7 (a) Model Fisik Truk Tampak Belakang
(b) Suspensi Truk Tampak Belakang

Dalam pemodelan dinamis yang digunakan pada tugas akhir ini adalah pertama memodelkan truk tampak depan dengan shock absorber yang mempunyai kemiringan sudut 20° . Nantinya akan dilakukan perhitungan yang seolah-olah menggambarkan bahwa shock absorber tersebut diluruskan dengan menggunakan perhitungan sudut, yang bertujuan untuk memperoleh nilai F_d

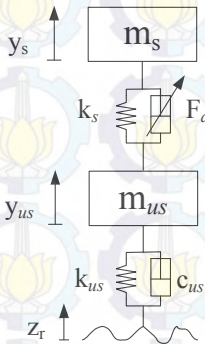
yang ada di shock absorber bagian depan truk. Kemudian nilai F_d dimasukkan kedalam sistem pemodelan seperempat kendaraan dan kemudian disimulasikan dengan MATLAB untuk memperoleh respon dinamis dari sistem tersebut.

Terdapat dua pemodelan dalam bentuk seperempat kendaraan, yaitu pemodelan seperempat kendaraan truk bagian depan dengan keadaan suspense miring dan bagian belakang truk dengan suspense tegak. Dalam pemodelan kendaraan ini mempunyai dua derajat kebebasan (2 DOF) dengan salah satu redaman menggunakan HMERSA. Pemodelan matematis meliputi yaitu m_{us} (massa roda) dan m_s (massa bodi kendaraan). Pemodelan matematis HMERSA meliputi tabung hidrolik, motor hidrolik, sepasang *spur gear*, dan generator elektromagnetik, dimana sistem tersebut memiliki 1 DOF, yaitu terdiri θ_1 dan θ_2 yang memiliki hubungan pada rasio gear.



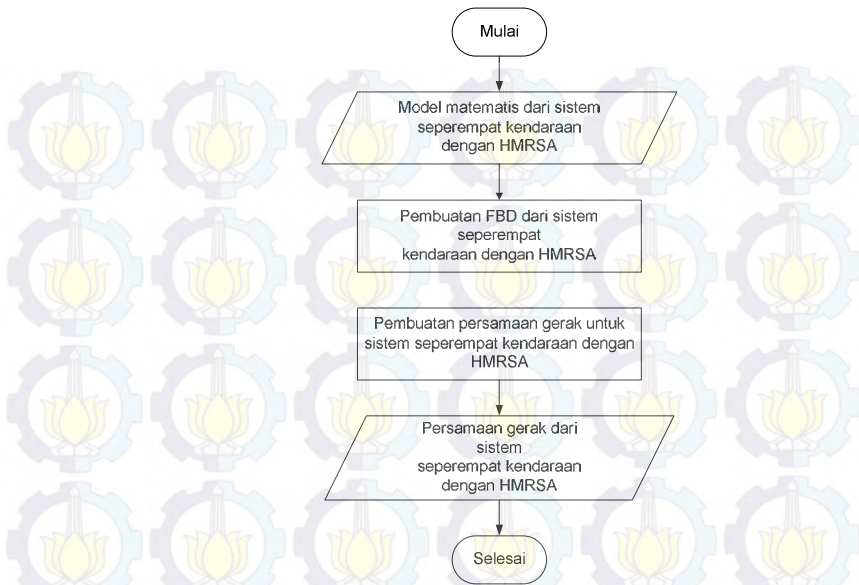
Gambar 3.8 Model matematis sistem kendaraan tampak depan dengan F_d merupakan sistem HMERSA

Model matematis di atas hanya untuk menunjukan letak dan bagaimana posisi shock absorber real pada truk jika dipandang tampak depan.



Gambar 3.9 Model matematis sistem seperempat kendaraan tampak samping dengan F_d merupakan sistem HMERSA

Setelah didapatkan model matematis, maka selanjutnya membuat persamaan gerak dari kedua sistem tersebut.



Gambar 3.10 Diagram alir proses pembuatan persamaan gerak dari sistem HMERSA

3.3.2 Pembuatan Blok Simulasi Sistem Setengah Kendaraan dengan HMERSA

Setelah mendapatkan persamaan gerak dari sistem, langkah selanjutnya yaitu membuat blok simulasi. Parameter yang digunakan untuk setengah kendaraan, yaitu parameter dari truk (*heavy truck*). Parameter yang digunakan untuk simulasi sistem setengah kendaraan dengan HMERSA sebagai berikut.

Tabel 3. 2 Parameter untuk simulasi sistem seperempat kendaraan (*heavy truck*)

| Parameter | Nilai |
|---|------------|
| Sprung mass (M_s) | 2175 kg |
| Unsprung mass (M_{us}) | 200 kg |
| Suspension stiffness (K_s) | 180000 N/m |
| Tire stiffness (K_{us}) | 500000 N/m |
| Unsprung damping coefficient (C_{us}) | 5000 N.s/m |

3.3.3 Analisis Grafik Sistem Setengah Kendaraan dengan HMERSA

Dari simulasi sistem seperempat kendaraan, akan didapatkan respon dinamis, berupa perpindahan, kecepatan, maupun percepatan dari input *harmonik* dan juga *step*. Selain itu, didapatkan juga grafik dari energi bangkitan pada sistem tersebut.

Grafik-grafik tersebut dianalisis. Selain dapat menghasilkan energi listrik, diharapkan HMERSA ini tidak mempengaruhi kenyamanan pada kendaraan. Setelah itu mengambil kesimpulan dari hasil analisis dan evaluasi yang telah dilakukan.

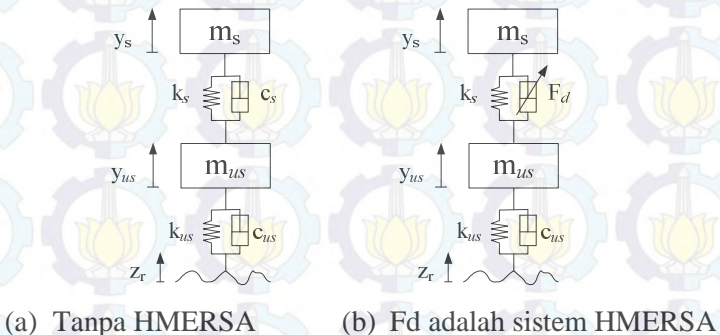


BAB IV PEMODELAN SISTEM

4.1 Pemodelan Matematis Seperempat Kendaraan

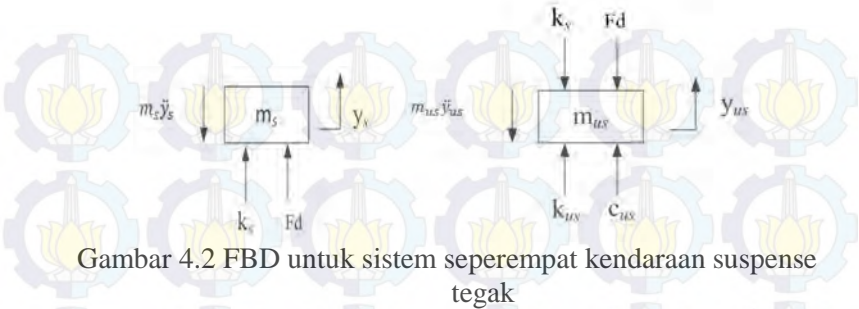
Pemodelan matematis yang digunakan dalam tugas akhir ini terdapat dua pemodelan seperempat kendaraan, pemodelan pertama yaitu untuk bagian model kendaraan bagian belakang dan bagian depan yang mempunyai sudut kemiringan pada suspensinya. Masing-masing dari dua pemodelan ini mempunyai dua derajat kebebasan (2 DOF) untuk pemodelan sistem suspensi tanpa HMERSA dan satu derajat kebebasan (1 DOF) untuk pemodelan HMERSA. Pemodelan matematis seperempat kendaraan meliputi 2 DOF yaitu massa *sprung* (m_s) dan *unsprung* (m_{us}).

4.1.1 Pemodelan Matematis Seperempat Kendaraan Tanpa Sudut.



Gambar 4.1 Model matematis seperempat kendaraan truk

Dari gambar pada pemodelan di atas dapat dibuat *Free Body Diagram* sebagai berikut:



Gambar 4.2 FBD untuk sistem seperempat kendaraan suspense tegak

Dari FBD di atas didapatkan persamaan gerak sebagai berikut :

$$(+)\Sigma F_y = 0$$

$$m_{us}\ddot{y}_{us} - k_{us}(z_r - y_{us}) - c_{us}(\dot{z}_r - \dot{y}_{us}) + k_s y_{us} + F_d = 0$$

$$\ddot{y}_{us} = \frac{1}{m_{us}} [k_{us}(z_r - y_{us}) - c_{us}(\dot{z}_r - \dot{y}_{us}) + k_s y_{us} - F_d] \quad (4.1)$$

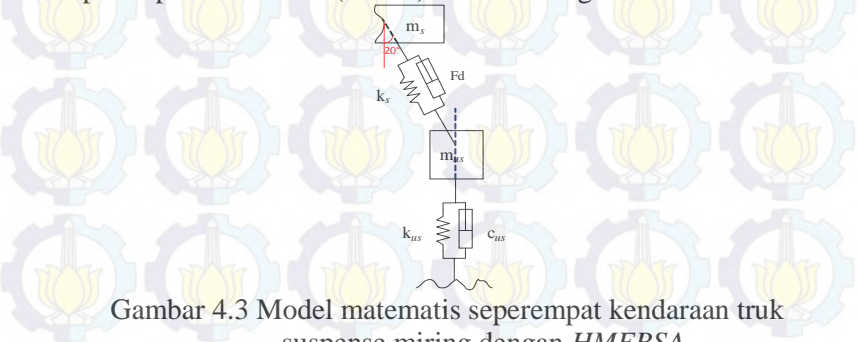
$$(+)\Sigma F_y = 0$$

$$-F_d + k_s(y_{us} - y_s) + m_s \ddot{y}_s = 0$$

$$\ddot{y}_s = F_d - k_s(y_{us} - y_s) - m_s \ddot{y}_s \quad (4.2)$$

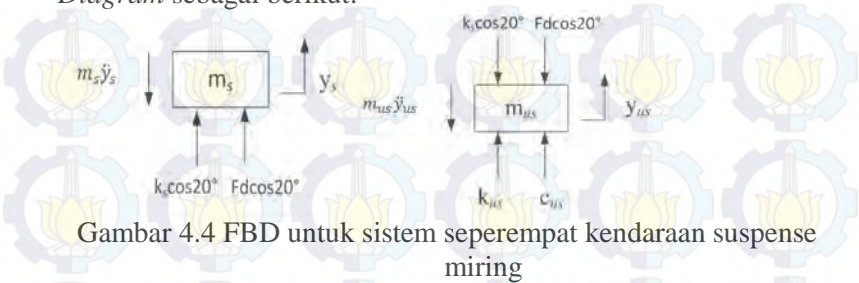
4.1.2 Pemodelan Matematis Seperempat Kendaraan dengan Sudut

Gambar sistem untuk pemodelan dinamis sistem suspense seperempat kendaraan (2DOF) adalah sebagai berikut:



Gambar 4.3 Model matematis seperempat kendaraan truk suspense miring dengan HMERSA

Dari gambar pada pemodelan di atas dapat dibuat *Free Body Diagram* sebagai berikut:



Gambar 4.4 FBD untuk sistem seperempat kendaraan suspensi miring

Dari FBD di atas didapatkan persamaan gerak sebagai berikut :

$$(+)\Sigma F_y = 0$$

$$m_{us}\ddot{y}_{us} - k_{us}(z_r - y_{us}) - c_{us}(\dot{z}_r - \dot{y}_{us}) + k_s \cos 20^\circ y_{us} + F \cos 20^\circ = 0$$

$$\ddot{y}_{us} = \frac{1}{m_{us}} [k_{us}(z_r - y_{us}) + c_{us}(\dot{z}_r - \dot{y}_{us}) - k_s \cos 20^\circ y_{us} - F \cos 20^\circ] \quad (4.3)$$

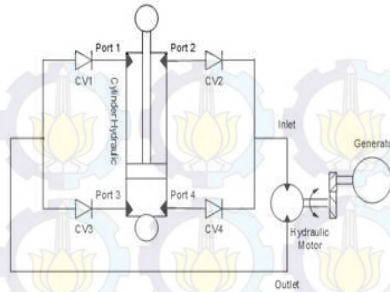
$$(+)\Sigma F_y = 0$$

$$m_s \ddot{y}_s - k_s \cos 20^\circ y_s - F \cos 20^\circ = 0$$

$$\ddot{y}_s = \frac{1}{m_s} [k_s \cos 20^\circ y_s + F \cos 20^\circ] \quad (4.4)$$

4.2 Pemodelan Matematis Sistem HMERSA

Untuk sistem HMERSA ini, menggunakan mekanisme hidrolik yang dihubungkan dengan motor hidrolik. Dari motor hidrolik selanjutnya dihubungkan ke *spur gear* yang kemudian menyambung ke generator.



Gambar 4.5 Skema HMERSA

4.2.1 Pemodelan Sistem Hidraulik

- Persamaan yang digunakan pada mekanisme hydraulic adalah persamaan Bernoulli (2.7) berikut:

$$\frac{p_1}{\rho} + \alpha \frac{v_1^2}{2} + gh_1 = \frac{p_2}{\rho} + \alpha \frac{v_2^2}{2} + gh_2$$

$h_1 = h_2$, sehingga persamaan menjadi:

$$\frac{p_1}{\rho} + \alpha \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + \alpha \frac{v_2^2}{2} \quad (4.5)$$

$$p_2 - p_1 = \frac{\rho}{2} (V_2^2 - V_1^2) \quad (4.6)$$

Dimana 1 adalah kondisi ekspansi dan 2 adalah kondisi kompresi
 Hubungan silinder hidrolik dengan pipa menggunakan persamaan konservasi massa:

✓ Ekspansi

$$Q_1 = Q_{\text{tube}}$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_{\text{tube}} \cdot V_{\text{tube}}$$

$$V_{\text{tube}} = \frac{A_1}{A_{\text{tube}}} \times V_1 \quad (4.7)$$

Lakukan substitusi persamaan (4.5) dengan persamaan (4.7), didapat :

$$\frac{p_{\text{tube}}}{\rho} + \frac{V_{\text{tube}}^2}{2} = \frac{p_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2}$$

$$\frac{p_{tube}}{\rho} + \frac{\left[\frac{A_1}{A_{tube}} \times V_1\right]^2}{2} = \frac{p_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2}$$

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} V_1^2 \left(\left(\frac{A_1}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) \quad (4.8)$$

Persamaan gaya redaman (2.13) nya adalah:

$$F_d = \Delta P A_1$$

$$F_d = \frac{\rho}{2} V_1^2 A_1 \left[\left(\frac{A_1}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right] \quad (4.9)$$

✓ Kompresi

$$Q_2 = Q_{tube}$$

$$A_2 \cdot V_2 = A_{tube} \cdot V_{tube}$$

$$V_{tube} = \frac{A_2}{A_{tube}} \times V_2 \quad (4.10)$$

Lakukan substitusi persamaan (4.5) dengan persamaan (4.10), didapat :

$$\frac{p_{tube}}{\rho} + \frac{V_{tube}^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2}$$

$$\frac{p_{tube}}{\rho} + \frac{\left[\frac{A_2}{A_{tube}} \times V_2\right]^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2}$$

$$\Delta P = \frac{\rho}{2} V_2^2 \left[\left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right] \quad (4.11)$$

Persamaan gaya redaman (2.13) nya adalah:

$$F_d = \Delta P A_2$$

$$F_d = \frac{\rho}{2} V_2^2 A_2 \left[\left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right] A_2 \quad (4.12)$$

Dimana:

$$A_2 = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_1 = \frac{1}{4} \pi (D^2 - d^2)$$

$$A_{tube} = \frac{1}{4} \pi D_{tube}^2$$

- *Head loss* yang terjadi pada sistem hidrolik:

Persamaan *Head loss* mayor (2.10) yang disebabkan oleh gaya gesek antara fluida dengan permukaan dalam pipa:

$$h_{lm} = K \frac{v^2}{2}$$

Persamaan *Head loss* mayor (2.8) yang disebabkan oleh gaya gesek antara fluida dengan permukaan dalam pipa:

$$h_l = \frac{64 L v^2}{Re D 2}$$

$$Re = \frac{v}{\nu}$$

$$h_l = \frac{32 L v}{dtube^2} \dot{x}$$

Maka total *headloss* adalah,

$$h_T = h_l + h_{lm} \quad (4.13)$$

$$h_T = \left[\frac{64 L v_p^2}{Re D_p 2} \right] + K \frac{v_p^2}{2}$$

$$h_T = \left[\frac{64 v_p L v_p^2}{v_p D_p D_p 2} \right] + K \frac{v_p^2}{2}$$

$$h_T = 32 v \frac{L v_p}{D_p^2} + K \frac{v_p^2}{2}$$

$$h_T = \frac{32 L v}{dtube^2} \dot{x} + K \frac{\dot{x}^2}{2} \quad (4.14)$$

✓ Ekspansi

$$F_d = \Delta p \times A_1$$

$$F_d = (\rho \cdot h_T) \times A_1$$

$$F_d = \rho \left(\frac{32 L v}{dtube^2} \dot{x} + K \frac{\dot{x}^2}{2} \right) \times A_1 \quad (4.15)$$

✓ Kompresi

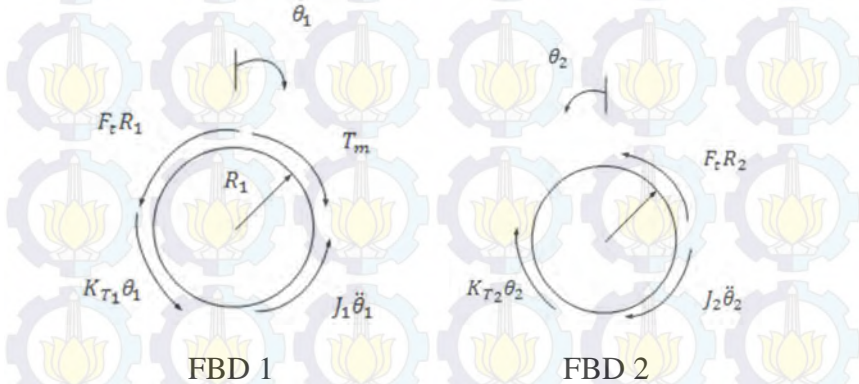
$$F_d = \Delta p \times A_2$$

$$F_d = (\rho \cdot h_T) \times A_2$$

$$F_d = \rho \left(\frac{32Lv}{dtube^2} \dot{x} + K \frac{\dot{x}^2}{2} \right) \times A_2 \quad (4.16)$$

4.2.2 Motor Hidrolik, Gear dan Torsi Elektrik pada Generator

Free Body Diagram pada roda gigi ditunjukkan pada gambar 4.6 di bawah:



Gambar 4.6 FBD untuk pasangan gear

Dari gambar 4.6 akan didapatkan persamaan matematis dari FBD 1 dan FBD 2, berikut untuk FBD 1:

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + K_{T1} \theta_1 + F_t R_1 = T_m$$

Dimana $K_{T1} \theta_1 \approx 0$ karena poros rigid

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + F_t R_1 = T_m \quad (4.17)$$

Persamaan untuk FBD 2:

$$T_e + J_2 \ddot{\theta}_2 + K_{T2} \theta_2 = F_t R_2$$

Dimana $K_{T2} \theta_2 \approx 0$ karena poros rigid

$$T_e + J_2 \ddot{\theta}_2 = F_t R_2$$

$$F_t = \frac{1}{R_2} [T_e + J_2 \ddot{\theta}_2] \quad (4.18)$$

Kemudian substitusi persamaan (4.17) dan (4.18):

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + \frac{R_1}{R_2} [T_e + J_2 \ddot{\theta}_2] = T_m$$

Dengan $N = \frac{R_1}{R_2} = \frac{\theta_2}{\theta_1}$ dan $N = \frac{R_2}{R_1} = \frac{\ddot{\theta}_1}{\ddot{\theta}_2}$ maka persamaan tersebut menjadi :

$$\begin{aligned} J_1 \ddot{\theta}_1 + N \left[J_2 \frac{\ddot{\theta}_1}{\ddot{\theta}_2} \ddot{\theta}_2 + T_e \right] &= T_m \\ J_1 \ddot{\theta}_1 + N [J_2 N \ddot{\theta}_1 + T_e] &= T_m \end{aligned} \quad (4.19)$$

Substitusi dengan persamaan T_m yang telah dijelaskan pada persamaan (2.17), sehingga persamaan menjadi:

$$\begin{aligned} J_1 \ddot{\theta}_1 + N^2 J_2 \ddot{\theta}_1 + N T_e &= T_m \\ J_1 \ddot{\theta}_1 + N^2 J_2 \ddot{\theta}_1 + N T_e &= \Delta p_m q \eta_m \\ (J_1 + N^2 J_2) \ddot{\theta}_1 + N T_e &= \Delta p_m q \eta_m \\ \Delta p_m &= \frac{1}{q \eta_m} [J_1 \ddot{\theta}_1 + N^2 J_2 \ddot{\theta}_1 + N T_e] \end{aligned} \quad (4.20)$$

Dari persamaan (2.16) akan didapatkan:

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{Q_m \eta_v}{q} \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{\eta_v}{q} \frac{dQ_m}{dt} \\ \dot{\omega} &= \frac{\eta_v}{q} \dot{Q}_m = \frac{\eta_v}{q} A \ddot{x} \end{aligned} \quad (4.21)$$

Dimana $\ddot{\theta} = \dot{\omega}$ dilakukan substitusi (4.20) dan (4.21) maka didapat

$$\Delta p_m = \frac{1}{q \eta_m} [J_1 \ddot{\theta}_1 + N^2 J_2 \ddot{\theta}_1 + N T_e]$$

$$\begin{aligned}
\Delta p_m &= \frac{1}{q\eta_m} [J_1 \dot{\omega} + N^2 J_2 \dot{\omega} + NT_e] \\
\Delta p_m &= \frac{1}{q\eta_m} \left[J_1 \frac{\eta_v}{q} \dot{Q}_m + N^2 J_2 \frac{\eta_v}{q} \dot{Q}_m + NT_e \right] \\
\Delta p_m &= \frac{1}{q\eta_m} \left[\frac{\eta_v}{q} \dot{Q}_m (J_1 + N^2 J_2) + NT_e \right] \\
\Delta p_m &= \frac{1}{q\eta_m} \left[\frac{\eta_v}{q} A \ddot{x} (J_1 + N^2 J_2) + NT_e \right] \quad (4.22)
\end{aligned}$$

Dengan catatan, A1 untuk keadaan ekspansi dan A2 untuk keadaan kompresi.

4.2.3 Persamaan generator yang telah dilinierkan (untuk T_e , V dan I)

Karena dari spesifikasi generator tidak diketahui secara lengkap maka generator perlu dilakukan pengujian untuk mendapatkan nilai tegangan, arus, dan torsi elektrik terhadap kecepatan. Pengujian tersebut sudah dilakukan oleh mahasiswa S-2 dan didapatkan data hasil pengujian seperti tabel dibawah :

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Generator SOC 50%

| SOC | RPM | V_{L-L} | V_{DC} | V_{Step} U_p | I |
|---------|-----|-----------|----------|---------------------|------|
| SOC 50% | 36 | 0.9 | 0.35 | 0.15 | 0 |
| | 55 | 1.2 | 0.8 | 0.2 | 0 |
| | 75 | 1.6 | 1.37 | 1.3 | 0 |
| | 105 | 2.1 | 2.36 | 2.12 | 0 |
| | 130 | 2.3 | 2.46 | 12.27 | 0 |
| | 185 | 3.8 | 2.8 | 12.59 | 0.12 |
| | 250 | 5 | 3 | 12.93 | 0.29 |
| | 370 | 7.2 | 3.7 | 13.5 | 0.57 |
| | 630 | 11.9 | 7.68 | 15.3 | 1.97 |

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa, rangkaian peningkat tegangan (*step up voltage*) tidak dapat meningkatkan tegangan ketika input dari rangkaian *step up* kurang dari 2,5 volt. Ketika diatas 2,5 volt, voltase dinaikkan hingga diatas 12 volt. Sehingga generator tersebut dapat mengisi (*charging*) aki.

Tabel 4.2 Torsi Elektrik yang Dihasilkan untuk Tiap SOC

| SOC | RPM | T _e |
|---------|-----|----------------|
| SOC 50% | 36 | 0 |
| | 55 | 0 |
| | 75 | 0 |
| | 105 | 0 |
| | 130 | 0 |
| | 185 | 0.0780 |
| | 250 | 0.1433 |
| | 370 | 0.1987 |
| | 630 | 0.4571 |

Pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 didapatkan nilai arus, voltase, dan torsi elektrik terhadap kecepatan (*rpm*). Untuk mendapatkan nilai arus dari Hukum Voltase Kirchoff sebagai fungsi kecepatan, dengan induktasi diabaikan dapat diturunkan perumusannya sebagai berikut.

$$R \cdot i + R_{Load} \cdot i = E_m = k_m \cdot \omega$$

$$i = \frac{k_m}{(R + R_{Load})} \omega = \beta \cdot \omega \quad (4.23)$$

Dimana β adalah konstanta arus (A/rpm).

$$T_e = 2 \cdot N \cdot B \cdot l \cdot a \cdot I = k_t \cdot I$$

$$T_e = 2 \cdot N \cdot B \cdot l \cdot a \cdot I = \frac{k_t \cdot k_m}{(R + R_{Load})} \omega$$

$$T_e = k_t \cdot \beta \cdot \omega = C_{Te} \cdot \omega \quad (4.24)$$

Dimana C_{Te} adalah konstanta torsi elektrik (N.m/rpm). Untuk voltase fungsi kecepatan, dapat diturunkan dari persamaan torsi elektrik sebagai berikut.

$$\begin{aligned} T_e &= 2. N. B. l. a. I = V. I / \omega \\ k_t &= 2. N. B. l. a = V / \omega \\ V &= k_t. \omega \end{aligned} \quad (4.25)$$

Dimana k_t adalah konstanta voltase (V/rpm). Untuk mendapatkan nilai konstanta pada voltase, arus, dan torsi elektrik diperlukan linierisasi dari data pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 yang dibahas pada sub-subbab berikut ini.

Linierisasi Arus

Karakteristik arus yang dihasilkan pada Tabel 4.2, dapat dilihat bahwa arus dihasilkan ketika kecepatan di atas 130 rpm. Dengan linierisasi menggunakan rumus interpolasi, didapatkan perumusan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \frac{i - i_1}{i_2 - i_1} &= \frac{\omega - \omega_1}{\omega_2 - \omega_1} \\ \Delta i &= \frac{i_2 - i_1}{\omega_2 - \omega_1} \cdot \Delta \omega = \beta \cdot \Delta \omega \end{aligned} \quad (4.26)$$

Dimana i_1 dan i_2 adalah arus pada kondisi pertama dan kedua, ω_1 dan ω_2 adalah kecepatan pada kondisi pertama dan kedua, dan β merupakan gradien dari arus terhadap kecepatan. Untuk mendapatkan nilai arus absolut

$$\begin{aligned} i - i_1 &= \beta \cdot (\omega - \omega_1) \\ i &= \beta \cdot \omega + (-\beta \cdot \omega_1 + i_1) \\ i &= \beta \cdot \omega + B \end{aligned} \quad (4.27)$$

Linierisasi Voltase

Karakteristik voltase yang dihasilkan pada Tabel 4.2, dapat dilihat bahwa voltase yang dihasilkan mempunyai perbedaan karakteristik ketika $0 \leq \omega_1 \leq 130$ rpm (kondisi 1) dan $\omega_2 > 130$ rpm (kondisi 2).

$$\left. \frac{dV_1}{d\omega_1} \right|_{\bar{\omega}_1} = 2. \gamma. \bar{\omega}_1 \quad (4.49)$$

Nilai tangensial yang melewati *operating point* dimana mempunyai $(\bar{\omega}_1, \bar{V}_1)$ didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\Delta V_1 &= \alpha_1 \cdot \Delta \omega_1 \\ V_1 - \bar{V}_1 &= \alpha_1 (\omega_1 - \bar{\omega}_1) \\ V_1 &= \alpha_1 \cdot \omega_1 + (-\alpha_1 \cdot \bar{\omega}_1 + \bar{V}_1) \\ V_1 &= \alpha_1 \cdot \omega_1 + A_1\end{aligned}\quad (4.28)$$

Untuk kondisi 2 atau $\omega_2 > 130$, dengan linierisasi menggunakan rumus interpolasi didapatkan perumusan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\frac{V_2 - V_{21}}{V_{22} - V_{21}} &= \frac{\omega_2 - \omega_{21}}{\omega_{22} - \omega_{21}} \\ \Delta V_2 &= \frac{V_{22} - V_{21}}{\omega_{22} - \omega_{21}} \cdot \Delta \omega_2 = \alpha_2 \cdot \Delta \omega_2\end{aligned}\quad (4.29)$$

Dimana V_{21} dan V_{22} adalah arus pada kondisi pertama dan kedua, ω_{21} dan ω_{22} adalah kecepatan pada kondisi pertama dan kedua, dan α_2 merupakan gradien dari voltase terhadap kecepatan. Untuk mendapatkan nilai voltase absolut, dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}V_2 - V_{21} &= \alpha_2 \cdot (\omega_2 - \omega_{21}) \\ V_2 &= \alpha_2 \cdot \omega_2 + (-\alpha_2 \cdot \omega_{21} + V_{21}) \\ V_2 &= \alpha_2 \cdot \omega_2 + A_2\end{aligned}\quad (4.30)$$

Linierisasi Torsi Elektrik

Karakteristik torsi elektrik yang dihasilkan pada Tabel 4.3, dapat dilihat bahwa torsi elektrik dihasilkan ketika kecepatan di atas 130 rpm. Dengan linierisasi menggunakan rumus interpolasi, didapatkan perumusan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\frac{T_e - T_{e1}}{T_{e2} - T_{e1}} &= \frac{\omega - \omega_1}{\omega_2 - \omega_1} \\ \Delta T_e &= \frac{T_{e2} - T_{e1}}{\omega_2 - \omega_1} \cdot \Delta \omega = C_{Te} \cdot \Delta \omega\end{aligned}\quad (4.31)$$

Dimana T_{e1} dan T_{e2} adalah torsi elektrik pada kondisi pertama dan kedua, ω_1 dan ω_2 adalah kecepatan pada kondisi pertama dan kedua, dan C_{Te} merupakan gradien dari torsi elektrik terhadap kecepatan. Untuk mendapatkan nilai torsi elektrik absolut, persamaan (4.31) dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} T_e - T_{e1} &= C_{Te} \cdot (\omega - \omega_1) \\ T_e &= C_{Te} \cdot \omega + (-C_{Te} \cdot \omega_1 + T_{e1}) \\ T_e &= C_{Te} \cdot \omega + \varepsilon \end{aligned} \quad (4.32)$$

4.3 Diagram Blok

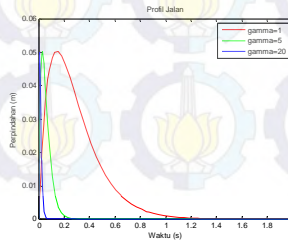
Setelah melakukan pemodelan matematis pada sistem, maka persamaan yang telah didapat akan diubah dalam bentuk diagram blok pada simulink Matlab. Agar supaya didapatkan respon dinamis dari masing-masing sistem yang akan dibahas pada bab selanjutnya.

4.3.1 Input yang Digunakan

Untuk pemodelan pada program simulasi terlebih dahulu menentukan jenis input yang akan diberikan. Adapun jenis input yang digunakan ada dua jenis, yaitu input *bump* yang telah dimodifikasi yang akan menghasilkan respon transien dan sinusoidal yang akan menghasilkan respon *steady-state*. Persamaan dari kedua input tersebut dapat dituliskan sebagai berikut.

- Input Bump modifikasi

$$y(t) = Y_{max} 0.37 e^2 (\gamma \omega_0 t) e^{-\gamma \omega_0 t}$$

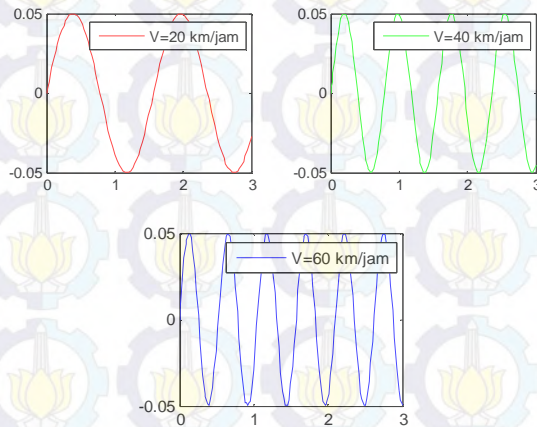


Gambar 4.7 Profil Jalan dengan Input *Bump* yang Dimodifikasi

Dari ketiga *trend* grafik di atas dapat diketahui bahwa input *bump* yang telah dimodifikasi merupakan fungsi dari γ (*severity parameter*), yaitu 1 untuk *low impact*, 5 untuk *less severe impacts*, dan 20 untuk *more severe impact*. Sedangkan ω_0 adalah $\sqrt{\frac{K_s}{M_s}}$. Nilai Y merupakan amplitudo yang digunakan. Amplitudo yang digunakan dalam simulasi, yaitu 2cm.

- Input Sinusodal

$$y(t) = Y \sin(\omega t)$$

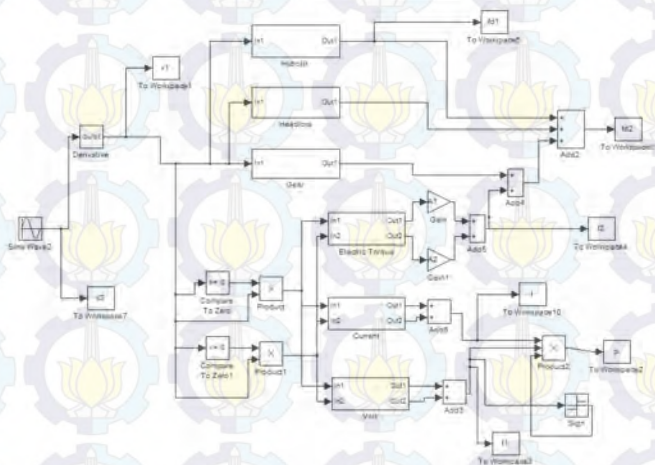


Gambar 4.8 Profil Jalan dengan Input Sinusoidal

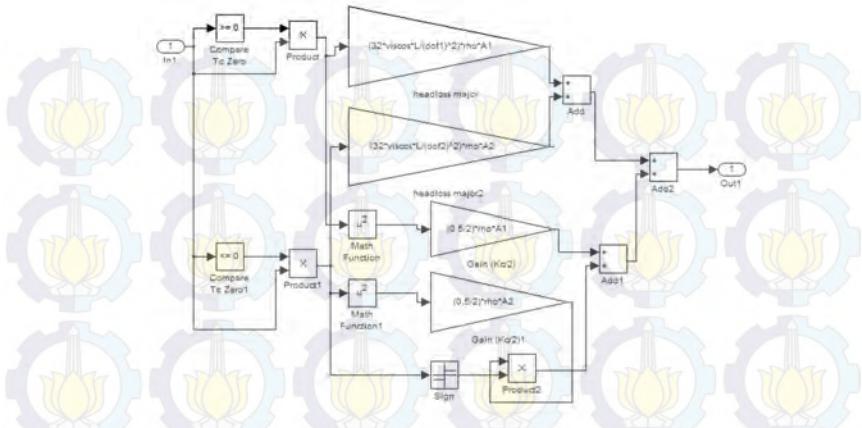
Nilai Y pada persamaan di atas merupakan amplitudo yang digunakan. Besar frekuensi akan divariasikan dengan amplitudo 2 cm dan panjang gelombang (λ) 10 m. Pada input sinusoidal tersebut digunakan tiga macam frekuensi yang masing-masing mewakili kecepatan kendaraan yang berbeda (20 km/jam, 40 km/jam, dan 60 km/jam), menggunakan rumus $f = \frac{v}{\lambda}$

4.3.2 Diagram blok sistem HMERSA

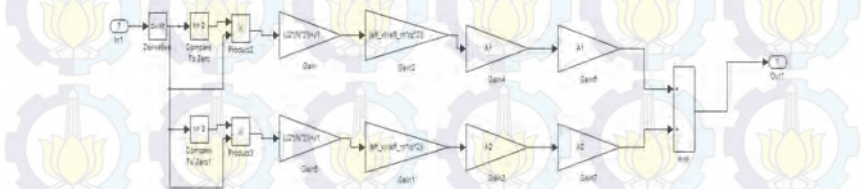
Setelah menentukan jenis eksitasi yang digunakan, dilakukan pembuatan diagram blok pada *Simulink*. Berikut pada gambar 4.13 sampai gambar 4.16 adalah skema diagram blok yang dibuat pada *Simulink*.



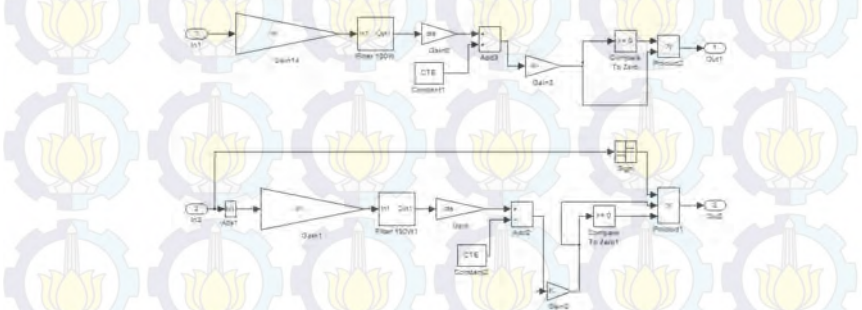
Gambar 4.9 Diagram Blok *Simulink* Bagian Mekanisme HEMSA tanpa pada *Quarter Car*



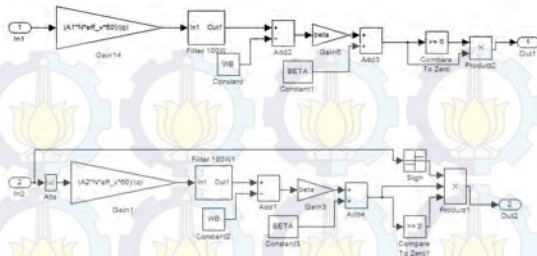
Gambar 4.12 Blok Simulasi *Headloss major dan minor*



Gambar 4.13 Diagram blok untuk Gear



Gambar 4.14 Diagram blok untuk torsi elektrik



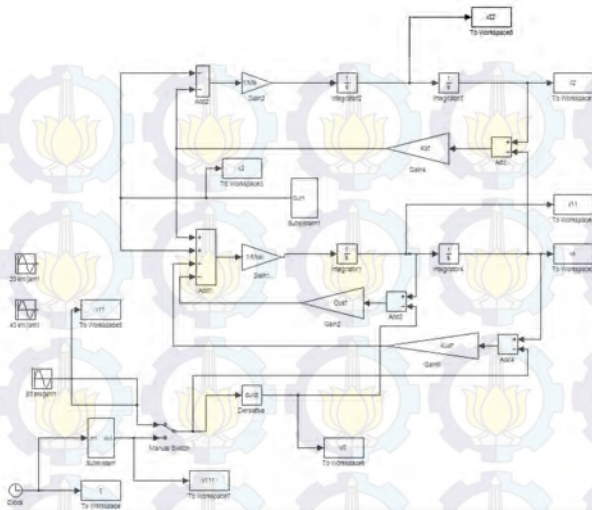
Gambar 4.15 Diagram blok untuk arus yang dihasilkan HMERSA



Gambar 4.16 Diagram blok untuk voltase yang dihasilkan HMERSA

4.3.3 Digaram Blok Sistem Seperempat Kendaraan dengan Penambahan HMERSA

Pada sistem seperempat kendaraan, nilai kontanta redaman pada massa sprung akan digantikan dengannilai gaya redaman yang dihasilkan sistem HMERSA. Input yamh digunakan dalam simulasi ada sua, yaitu insput sinusoidal dengan variasi kecepatan 20km/jam, 40 km/jam dan 60 km/jam dan input bump yang telah dimodifikasi.



Gambar 4.17 Diagram blok untuk sistem seperempat kendaraan dengan penambahan HMERSA untuk input sinusoidal maupun bump



BAB V

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pemodelan ini akan didapatkan respon dinamis dari system HMERSA dan system seperempat kendaraan dengan penambahan HMERSA pada suspensi dengan posisi tegak dan mempunyai sudut. Respon dinamis yang dibahas dalam bab ini adalah respon perpindahan, kecepatan dan besar daya listrik yang dihasilkan oleh HMERSA. Grafik respon yang dihasilkan, nilai positif merupakan kondisi ekspansi dan nilai negatif untuk kondisi kompresi.

Pertama kali yang dilakukan dalam simulasi ini adalah pemilihan pasangan diameter silinder hidrolik, diameter batang piston dan diameter pipa yang digunakan. Didapat dari penelitian terdahulu, dipilih pasangan diameter silinder hidrolik yaitu, 5cm diameter piston 3cm dan diameter pipa 2mm.

Setelah memilih pasangan diameter pada silinder hidrolik, selanjutnya digunakan menjadi parameter untuk system HMERSA. Pada simulasi HMERSA, divariasikan frekuensi mulai dari 1 Hz sampai dengan 1.7 Hz. Kemudian pilih salah satu dari frekuensi tersebut yang nantinya digunakan menjadi parameter pada system seperempat kendaraan dengan penambahan HMERSA. Simulasi ini dilakukan pada suspensi dengan posisi tegak dan mempunyai sudut.

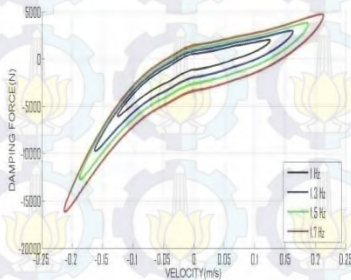
Pada tahap selanjutnya, system HMERSA diaplikasikan pada system seperempat kendaraan (truk) dengan input yang digunakan, yaitu input sinusoidal dan input bump modified. Dari kedua input ini didapatkan respon dinamis dan daya listrik bangkitan yang dihasilkan.

5.1 Respon Dinamis pada Pasangan Diameter Silinder Hidrolik, Diameter Batang Piston, Diameter Pipa dengan Variasi Frekuensi

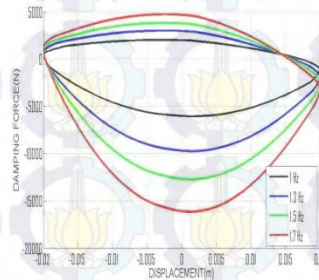
Berdasarkan dari penelitian terdahulu bahwa variasi pasangan diameter-diameter yang akan digunakan sebagai parameter pada penelitian ini adalah diameter silinder 5cm, diameter batang piston 3cm dan diameter pipa 2mm dengan variasi frekuensi 1 Hz hingga 1.7 Hz. Dikarenakan gaya redam yang dihasilkan paling besar adalah pasangan diameter di atas.

5.2 Respon Gaya Redam pada Sistem HMERSA dengan dan Tanpa Sudut

Pada system HMERSA ini terdapat dua cara pemasangan pada kendaraan truk secara *real*, yaitu kondisi tegak dan kondisi miring (bersudut)

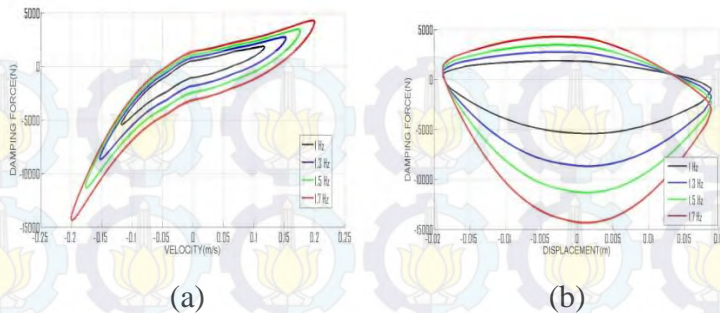


(a)



(b)

Gambar 5.1 Grafik perbandingan gaya redam terhadap (a) kecepatan dan (b) percepatan pada system hidrolik dengan posisi suspense tegak



Gambar 5.2 Grafik perbandingan gaya redam terhadap (a) kecepatan dan (b) percepatan pada system hidrolik dengan posisi suspense miring

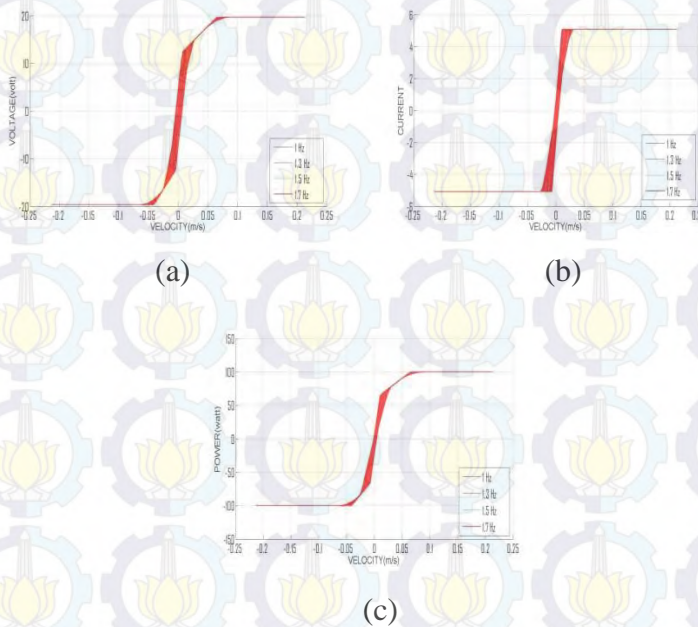
Tabel 5.1 Nilai gaya redam yang dihasilkan pada system hidrolik dengan dan tanpa sudut

| Suspensi | Kondisi | 1 Hz | 1.3 Hz | 1.5 Hz | 1.7 Hz |
|----------------------|----------|------|--------|-----------|-----------|
| Depan (dengan sudut) | Ekspansi | 1860 | 2742 | 3458 | 4279 |
| | Kompresi | 5414 | 8678 | 1133e+004 | 1436e+004 |
| Belakang (tegak) | Ekspansi | 2024 | 3018 | 3826 | 4752 |
| | Kompresi | 6035 | 9725 | 1272e+004 | 1616e+004 |

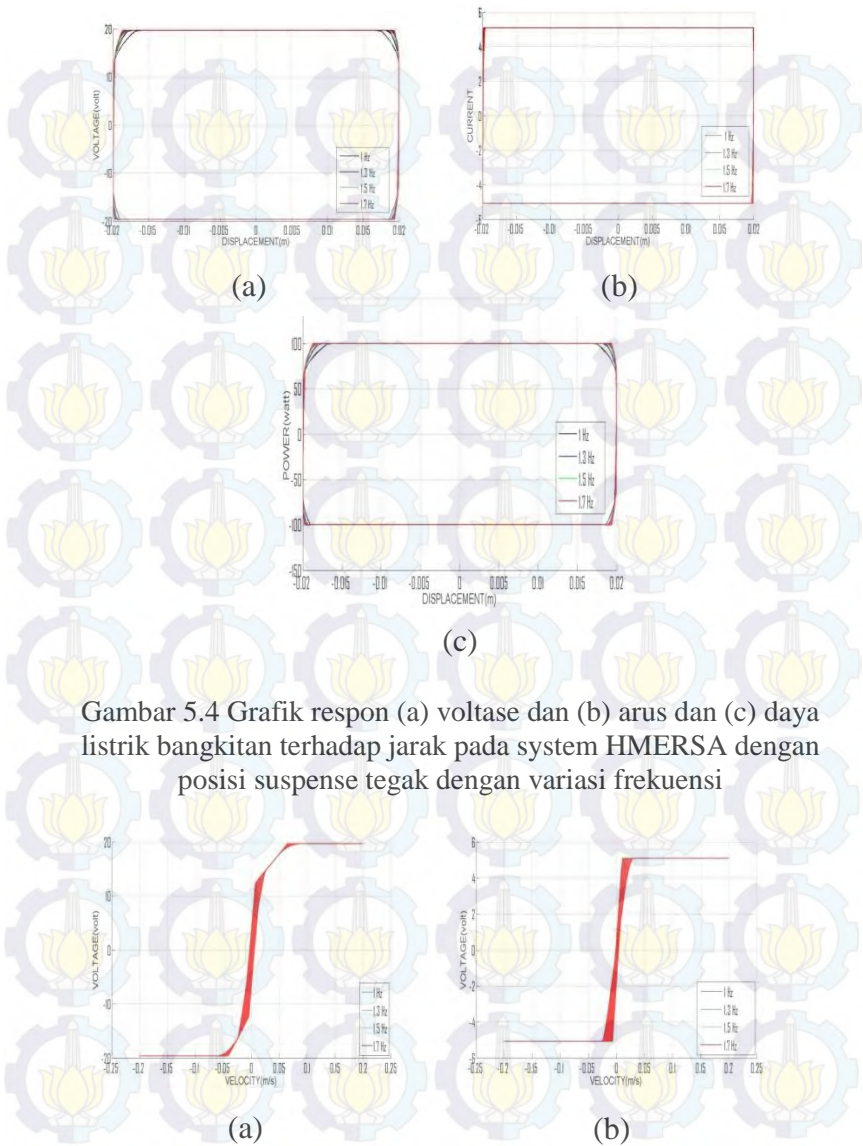
Dari table 5.1 dapat dilihat nilai gaya redam yang dihasilkan. Jika dibandingkan, misal pada saat frekuensi 1.7 Hz system hidrolik dengan sudut menghasilkan gaya redam yaitu 4279N pada saat ekspansi. Sedangkan gaya redam yang dihasilkan oleh system hidrolik tanpa sudut adalah 4752N. Terjadi perbedaan nilai gaya redam pada ekspansi dan kompresi karena pengaruh dari luasan diameter silinder hidrolik dan piston hidrolik. Seperti pada (persamaan (2.13)), gaya redam sebanding

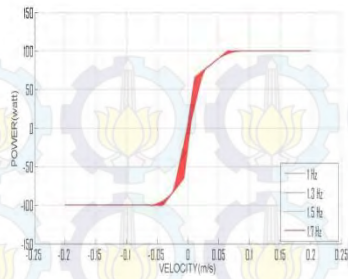
dengan luasan pada. Karena luas pada silinder lebih besar daripada luasan piston maka nilai gaya redam pada saat kompresi lebih besar. Nilai gaya redam yang paling besar pada suspensi dengan dan tanpa sudut terjadi pada saat frekuensi paling besar yaitu 1.7 Hz. Dapat disimpulkan bahwa dengan adanya sudut, gaya redam yang dihasilkan oleh sistem hidrolik lebih kecil.

5.2.1 Respon Voltase, Arus dan Daya Listrik Bangkitan pada system HMERSA dengan dan Tanpa Sudut dengan variasi Frekuensi



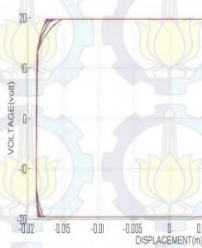
Gambar 5.3 Grafik respon (a) voltase dan (b) arus dan (c) daya listrik bangkitan terhadap kecepatan pada system HMERSA dengan posisi suspensi tegak dengan variasi frekuensi



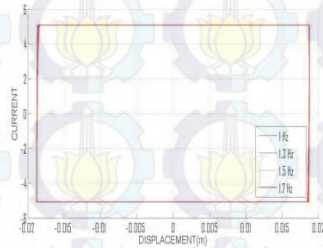


(c)

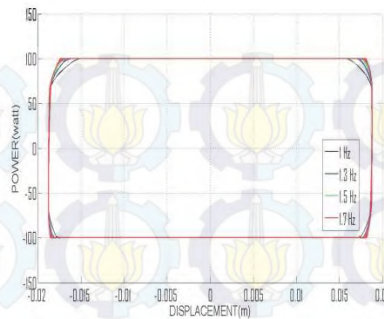
Gambar 5.5 Grafik respon (a) voltase dan (b) arus dan (c) daya listrik bangkitan terhadap kecepatan pada system HMERSA dengan posisi suspense miring dengan variasi frekuensi



(a)



(b)



(c)

Gambar 5.6 Grafik respon (a) voltase dan (b) arus dan (c) daya listrik bangkitan terhadap jarak pada system HMERSA dengan posisi suspense miring dengan variasi frekuensi

Gambar 5.3 dan 5.5 merupakan grafik voltase, arus dan daya listrik bangkitan terhadap kecepatan sedangkan gambar 5.4 dan 5.6 merupakan grafik voltase, arus dan daya listrik bangkitan terhadap perpindahan pada system HMERSA pada suspense tegak maupun miring dengan variasi mulai dari 1 Hz hingga 1.7 Hz. Nilai perpindahan pada grafik voltase, arus dan daya listrik bangkitan maksimum yang dihasilkan kedua suspense pada saat frekuensi 1 Hz hingga 1.7 Hz pada suspense tegak adalah 0.02m sedangkan untuk suspense miring sebesar 0.01873m. Nilai kecepatan pada grafik voltase, arus dan daya listrik bangkitan maksimum yang dihasilkan kedua suspense pada saat frekuensi 1 Hz hingga 1.7 Hz pada suspense tegak adalah 0.2134 m/s sedangkan untuk suspense miring sebesar 0.20 m/s. Voltase maksimum yang dihasilkan sebesar 20 volt. Untuk arus maksimum yang dihasilkan sebesar 5.096 ampere dan untuk daya listrik bangkitan maksimum yang dihasilkan sebesar 100 watt. Voltase, arus maupun daya bangkitan yang dihasilkan oleh kedua suspense tidak berbeda jauh karena kemiringan sudut pada suspense hanya 20° .

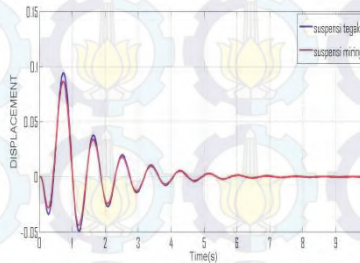
Pada gambar 5.3 dan 5.5 dan gambar 5.4 dan 5.6 juga dapat dilihat bahwa grafik pada voltase, arus dan daya listrik bangkitan memiliki alur trend yang hampir sama saat frekuensi 1 Hz hingga 1.7 Hz. Hal ini dikarenakan variasi frekuensi tidak mempengaruhi besarnya nilai voltase, arus dan daya listrik bangkitan yang dihasilkan. Hal ini juga sesuai dengan rumus yang digunakan Yang mempengaruhi besarnya nilai daya yang dihasilkan adalah diameter silinder dan batang piston (persamaan (2.13))

Pada simulasi HMERSA ini menggunakan generator dengan spesifikasi daya yang dihasilkan maksimum sebesar 100 watt. Sehingga, pada gambar 5.4 grafik voltase, arus dan daya listrik bangkitan pada kondisi maksimum bernilai konstan. Untuk voltase, nilai maksimum sebesar 20 volt, untuk arus nilai maksimumnya sebesar 5.096 ampere dan untuk daya listrik bangkitan adalah 100 watt. Untuk mencapai nilai maksimum tersebut antara suspense tegak dan miring hanya terpaut nilai sedikit baik untuk kecepatan maupun perpindahan.

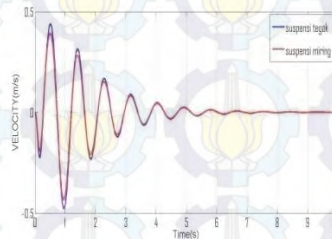
5.3 Respon Dinamis Sistem Seperempat Kendaraan dengan Penambahan Sistem HMERSA

Setelah dilakukan simulasi pada system HMERSA, system HMERSA tersebut diaplikasikan pada system seperempat kendaraan (truk) dengan input sinusoidal dan input *bump modified*.

5.3.1 Input Bump



(a)

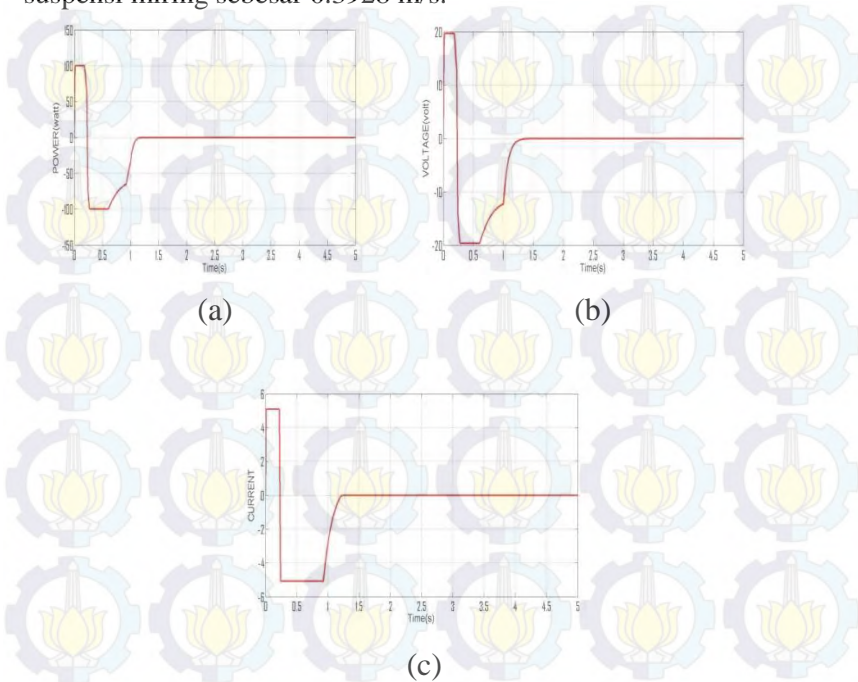


(b)

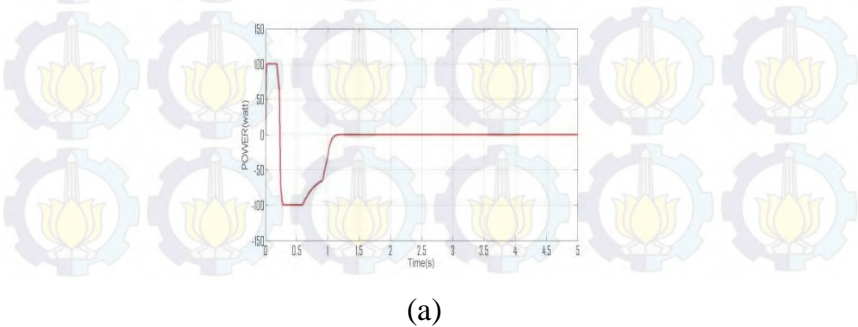
Gambar 5.7 Grafik respon (a) perpindahan (b) kecepatan massa sprung *quarter car* dengan input *bump modified*

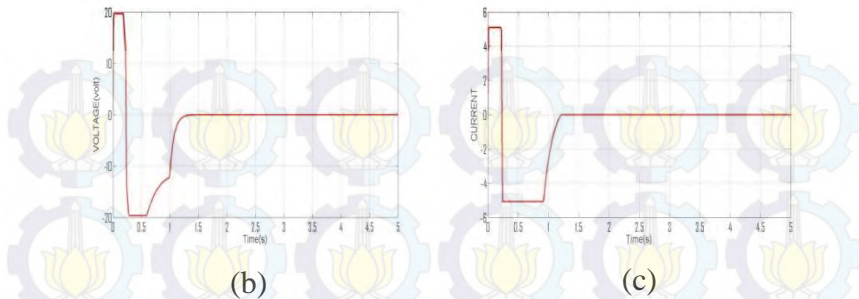
Gambar 5.7 merupakan grafik respon dinamis berupa perpindahan dan kecepatan pada massa *sprung* terhadap waktu dengan input *bump modified* pada suspensi tegak dan miring, masing-masing diaplikasikan pada model seperempat kendaraan. Pada grafik *displacement* terhadap waktu tersebut respon transien yang didapat hampir sama, yaitu mencapai kondisi steady state kurang lebih 6 detik. Pada grafik respon perpindahan, nilai maksimum perpindahan *sprung* pada suspensi tegak adalah sebesar 0.09404 m dan untuk suspensi miring adalah 0.0864 m. Sedangkan pada grafik respon kecepatan, nilai maksimum

kecepatan pada suspense tegak adalah sebesar 0.4384 m/s dan suspensi miring sebesar 0.3928 m/s.



Gambar 5.8 Grafik respon (a) daya bangkitan (b) voltase (c) arus terhadap waktu system HMERSA suspense tegak pada *quarter car* dengan input *bump modified*

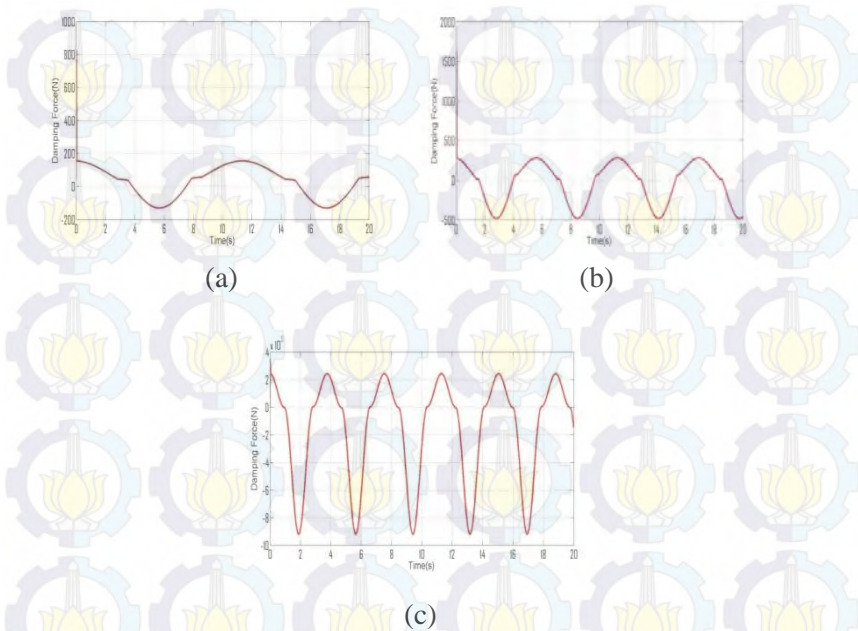




Gambar 5.9 Grafik respon (a) daya bangkitan (b) voltase (c) arus terhadap waktu system HMERSA suspense miring pada *quarter car input bump modified*

Grafik 5.8 dan 5.9 merupakan grafik respon a) daya bangkitan (b) voltase (c) arus yang dihasilkan oleh system HMERSA suspense tegak dan miring terhadap waktu dengan input *bump modified*. Pada grafik voltase, nilai maksimum yang terjadi pada kedua suspense memiliki nilai yang sama yaitu adalah sebesar 20 volt. Pada grafik arus nilai maksimum yang terjadi adalah 5 ampere. Dan yang terakhir pada grafik daya bangkit, nilai maksimum yang terjadi pada suspense tegak adalah 100 watt. Perpindahan dan kecepatan pada grafik voltase, arus maupun daya bangkitan yang dihasilkan oleh kedua suspense tidak berbeda jauh karena kemiringan sudut pada suspense hanya 20°

5.3.2 Input Sinusoidal

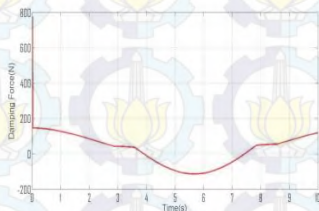


Gambar 5.10 Grafik respon gaya redam dengan variasi kecepatan a) 20km/jam (b) 40km/jam (c) 60km/jam terhadap waktu untuk suspense tegak pada system *quarter car*

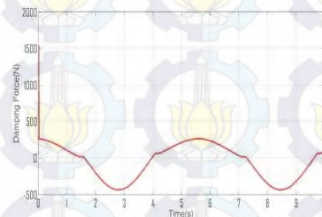
Gambar 5.10 merupakan grafik respon gaya redam dengan variasi kecepatan 20,40 dan 60 km/jam terhadap waktu. Variasi kecepatan tersebut diumpamakan sebagai laju kendaraan saat berjalan di jalan raya. Kecepatan tersebut diasumsikan konstan. Trendline pada ketiga grafik tersebut sangat berbeda karena nilai frekuensi didapatkan dengan menggunakan rumus $\frac{v}{\lambda}$. Sehingga semakin besar kecepatan maka nilai frekuensi akan semakin membesar juga dengan λ yang konstan. Semakin besar frekuensi, gelombang yang dihasilkan tiap detik akan semakin banyak. Hal ini dapat dilihat pada grafik kecepatan 60

km/jam memiliki gelombang yang paling banyak dibanding grafik lainnya.

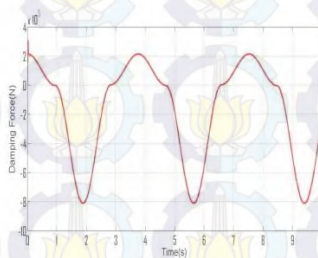
Dari gambar 5.10 dapat dilihat bahwa respon dari grafik tersebut merupakan respon *steady state*. Untuk kecepatan 20 km/jam nilai gaya redam maksimum saat ekspansi sebesar 280.4 N dan kompresi sebesar 480.9 N. Untuk kecepatan 40 km/jam nilai gaya redam maksimum saat ekspansi sebesar 279.8 N dan kompresi sebesar 480.8 N. Dan untuk kecepatan 60 km/jam nilai gaya redam maksimum saat ekspansi sebesar 2.325×10^5 N dan kompresi sebesar 9.111×10^5 N.



(a)



(b)

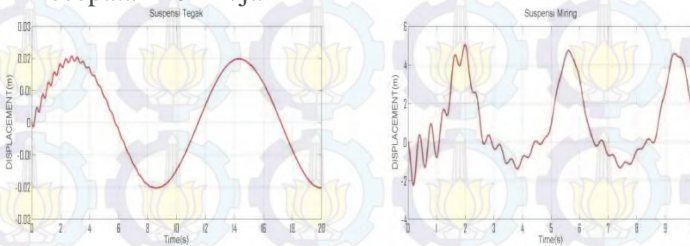


(c)

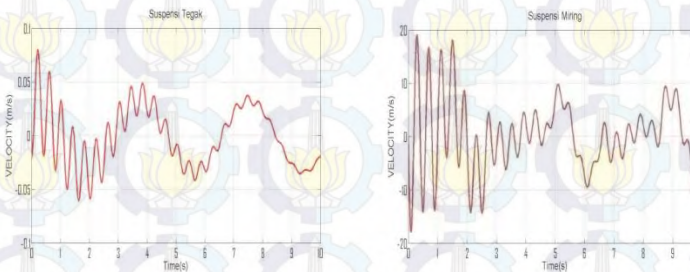
Gambar 5.11 Grafik respon gaya redam dengan variasi kecepatan
a) 20km/jam (b) 40km/jam (c) 60km/jam terhadap waktu untuk
suspense miring pada system *quarter car*

Dari gambar 5.11 dapat dilihat bahwa respon dari grafik tersebut merupakan respon *steady state*. Untuk kecepatan 20 km/jam nilai gaya redam maksimum saat ekspansi sebesar 118.8 N dan kompresi sebesar 112.3 N. Untuk kecepatan 40 km/jam nilai gaya redam maksimum saat ekspansi sebesar 262.26 N dan kompresi sebesar 432.9 N. Dan untuk kecepatan 60 km/jam nilai gaya redam maksimum saat ekspansi sebesar 2.112^{10^5} N dan kompresi sebesar 8.121^{10^5} N.

- Kecepatan 20 km/jam



(a)



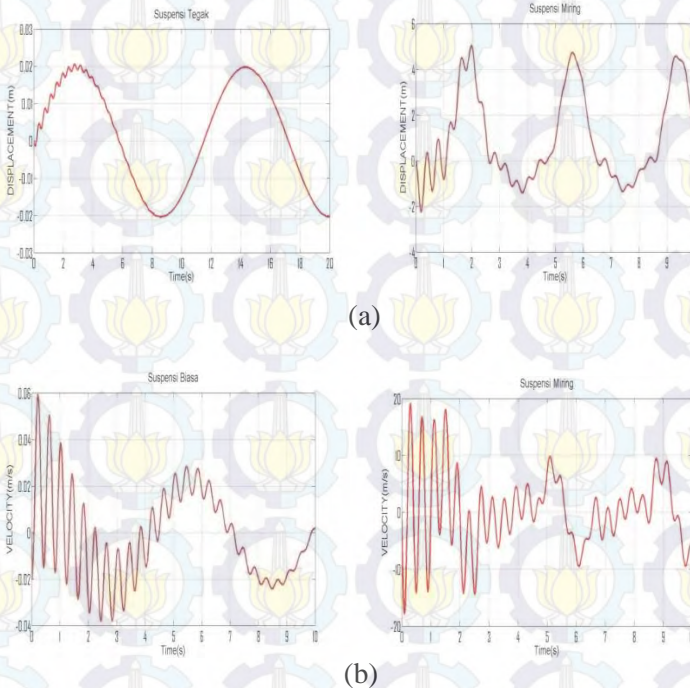
(b)

Gambar 5.12 Grafik perbandingan respon respon (a) perpindahan (b) kecepatan pada massa *sprung* terhadap waktu antara system HMERSA dengan suspense tegak dan miring

Dari gambar 5.12 dapat dilihat bahwa respon dari grafik tersebut merupakan respon *steady state*. Pada suspense tegak,

memiliki perpindahan sebesar 0.02 m, kecepatan mulai steady pada saat 0.03m/s. sedangkan untuk suspense miring memiliki perpindahan sebesar 5.023 m dan kecepatan mulai konstan atau steady pada 9.6 m/s

- Kecepatan 40 km/jam

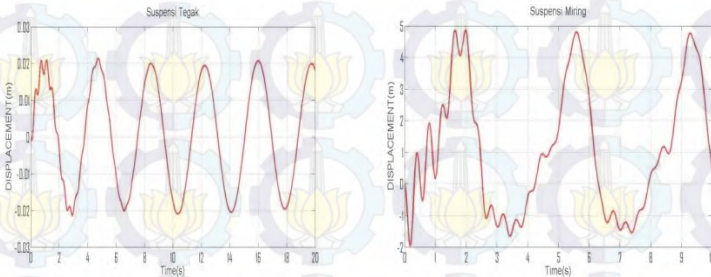


Gambar 5.13 Grafik perbandingan respon respon (a) perpindahan (b) kecepatan pada massa *sprung* terhadap waktu antara system HMERSA dengan suspense tegak dan miring

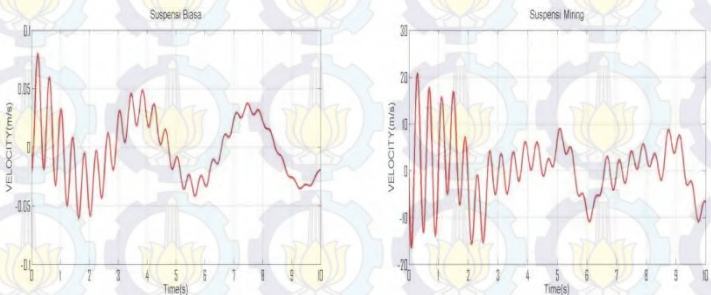
Dari gambar 5.13 dapat dilihat bahwa respon dari grafik tersebut merupakan respon *steady state*. Pada suspense tegak, memiliki perpindahan terbesar sebesar 0.02 m, kecepatan terbesar

pada saat 0.08m/s. sedangkan untuk suspense miring memiliki perpindahan sebesar 5.64 m dan kecepatan mulai konstan atau steady pada 10 m/s

- Kecepatan 60 km/jam



(a)



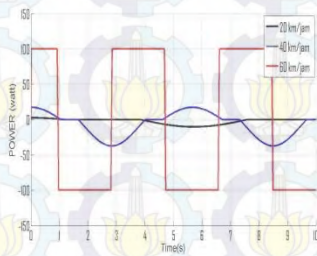
(b)

Gambar 5.14 Grafik perbandingan respon respon (a) perpindahan (b) kecepatan pada massa *sprung* terhadap waktu antara system HMERSA dengan suspense tegak dan miring

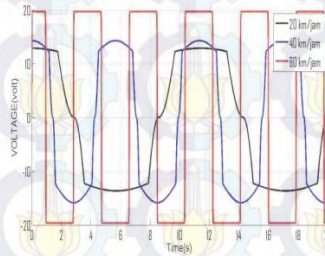
Dari gambar 5.14 dapat dilihat bahwa respon dari grafik tersebut merupakan respon *steady state*. Pada suspense tegak, memiliki perpindahan sebesar 0.02 m, kecepatan mulai steady pada saat 0.04 m/s. sedangkan untuk suspense miring memiliki

perpindahan sebesar 4.798 m dan kecepatan mulai konstan atau steady pada 8.57 m/s.

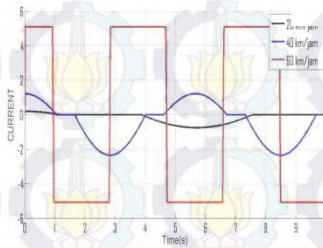
Pada ketiga gambar yaitu, gambar 5.13, gambar 5.14 dan gambar 5.15, grafik mengalami perbedaan antara suspense tegak dan miring dikarenakan terdapat perbedaan sudut yaitu sebesar 20° pada suspense miring. Hal ini mengakibatkan *displacement* maupun *velocity* pada suspense miring lebih besar daripada yang lurus.



(a)

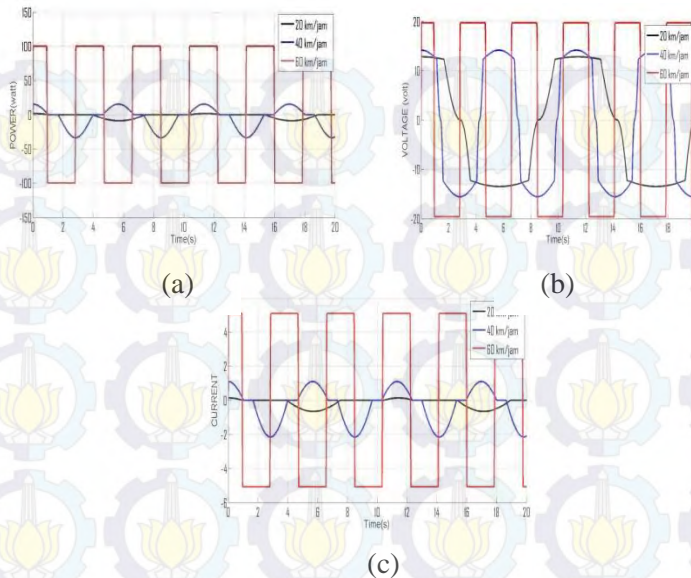


(b)



(c)

Gambar 5.15 Grafik respon respon (a) daya bangkitan (b) voltase (c) arus untuk suspense tegak pada system *quarter car*



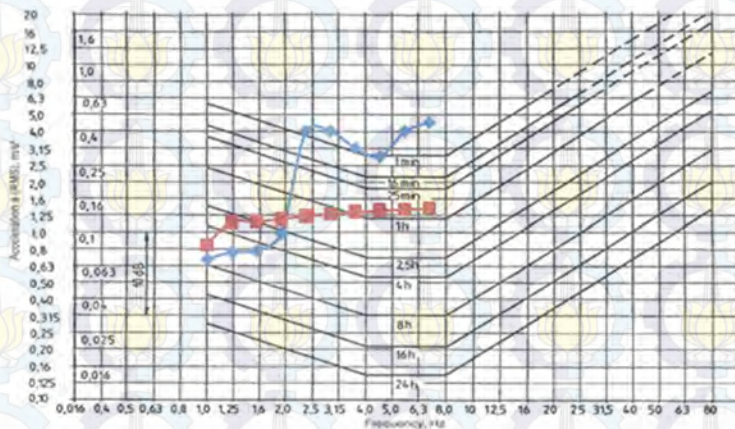
Gambar 5.16 Grafik respon respon (a) daya bangkitan (b) voltase (c) arus untuk suspense miring pada system *quarter car*

Gambar 5.15 dan 5.16 merupakan grafik respon voltase, arus, dan daya listrik bangkitan yang dihasilkan oleh system HMERSA pada system *quarter car* terhadap waktu. Pada grafik diatas tetap menggunakan variasi kecepatan yang sama, yaitu 20 km/jam, 40 km/jam dan 60 km/jam. Grafik respon voltase, arus, dan daya listrik bangkitan untuk suspensi tegak dan miring memiliki bentuk trendline grafik yang sama tetapi banyak gelombang yang dihasilkan masing masing berbeda pada tiap variasi kecepatan. Dikarenakan nilai nilai frekuensi didapatkan dengan menggunakan rumus $\frac{v}{\lambda}$, sehingga semakin besar kecepatan dengan λ yang konstan maka didapatkan nilai frekuensi yang besar. Generator yang digunakan pada HMERSA ini adalah generator yang dapat menghasilkan daya maksimum 100 watt. Pada grafik respon daya listrik bangkitan terhadap waktu dapat

dilihat bahwa pada saat kecepatan 20km/jam daya listrik yang dihasilkan lebih kecil daripada saat kecepatan 40km/jam dan 60 km/jam. Hal ini dikarenakan pada saat kecepatan 20km/jam, putaran generator yang dihasilkan sangat kecil. Sedangkan pada kecepatan 60 km/jam, daya listrik bangkitan yang dapat dihasilkan mencapai daya maksimum sebesar 100 watt.

5.4 Grafik RMS (*Root Mean Square*)

5.4.1 Grafik RMS Percepatan Body Kendaraan pada Input Sinusoidal Variasi Kecepatan Kendaraan



Gambar 5.17 Respon Percepatan RMS Body Kendaraan Akibat Input Sinusoidal

Gambar 5.17 merupakan grafik respon percepatan RMS (*Root Mean Square*) terhadap frekuensi dengan asumsi λ 10 meter dari system HMERSA dan system peredam konvensional ($c = 20.000 \text{ Ns/m}$). Simulasi dilakukan dengan variasi kecepatan 10-100 km/jam dengan interval 10 km/jam. Dari kecepatan tersebut, akan diperoleh nilai frekuensi dengan menggunakan rumus $f = v/\lambda$ untuk dijadikan inputan berupa sinusoidal. Setelah itu, nilai

percepatan RMS yang telah disimulasikan akan diplot pada grafik ISO 2631.

Pada gambar 5.17 merupakan grafik ketahanan pengendara saat berkendara berdasarkan ISO 2631. Dapat dilihat untuk system HMERSA pada kecepatan 10-30 km/jam pengendara dapat bertahan 16 jam, kecepatan 40 km/jam ketahanan pengendara turun menjadi satu jam. Kecepatan 50km/jam seterusnya pengendara hanya bertahan satu menit. Untuk $C = 20.000 \text{ Ns/m}$, untuk kecepatan 10 km/jam, pengendara dapat bertahan 4 jam. Kemudian untuk kecepatan 20 - 30 km/jam adalah kurang lebih 25 menit, untuk kecepatan 40-100 km/jam ketahanan pengendara adalah selama 16 menit. Namun pada realitanya, kendaraan saat melintas di jalan kecepatannya bervariasi. Sehingga frekuensi juga bervariasi. Grafik di atas hanya melihat pada saat kecepatan tertentu saja.

5.4.2 Grafik Displacement Transmissibility pada Input Sinusoidal Variasi Kecepatan Kendaraan

Tabel 5.2 merupakan data tabel simulasi yang dilakukan pada system quarter car dan HMERSA dengan suspense dalam keadaan miring. Sedangkan table 5.3 merupakan data table simulasi yang dilakukan system quarter car dengan konstanta redaman C . Keduanya dilakukan pada variasi kecepatan 10-100 km/jam. Kedua system ini disimulasikan menggunakan asumsi $\lambda = 3\text{m}$.

Tabel 5.2 Data simulasi Quarter Car dan HMERSA Variasi Kcepatan Kendaraan

| Kecepatan | X0 | Xrms | Xrms/ X0 | Freq (hz) | Arms (m/s ²) |
|-----------|------|-------|-------------|--------------|-----------------------------|
| 10 km/h | 0,02 | 0.014 | 0.7 | 0.926 | 0.005 |
| 20 km/h | 0,02 | 0.03 | 1.5 | 1.852 | 0.4 |

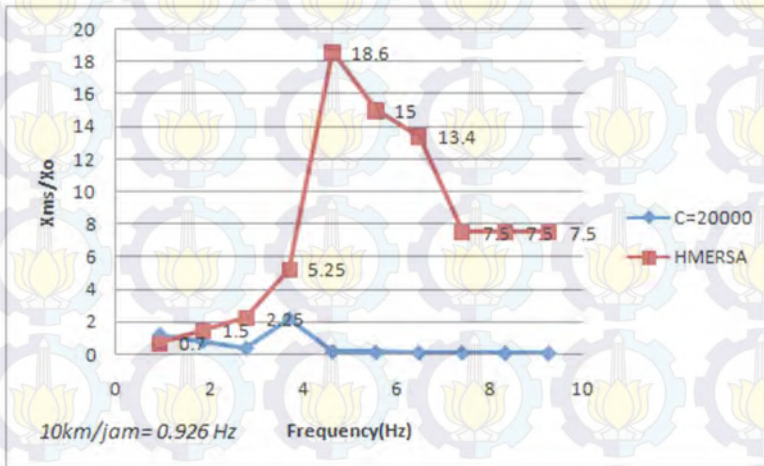
| | | | | | |
|----------|------|-------|------|-------|-----|
| 30 km/h | 0,02 | 0.045 | 2.25 | 2.778 | 0.5 |
| 40 km/h | 0,02 | 0.105 | 5.25 | 3.704 | 1.5 |
| 50 km/h | 0,02 | 0.372 | 18.6 | 4.63 | 7.5 |
| 60 km/h | 0,02 | 0.3 | 15 | 5.556 | 7.5 |
| 70 km/h | 0,02 | 0.268 | 13.4 | 6.481 | 6.5 |
| 80 km/h | 0,02 | 0.15 | 7.5 | 7.407 | 6 |
| 90 km/h | 0,02 | 0.15 | 7.5 | 8.333 | 7.5 |
| 100 km/h | 0,02 | 0.15 | 7.5 | 9.259 | 8 |

Tabel 5.3 Data Simulasi Quarter Car dan Konstanta Redaman C Variasi Kcepatan Kendaraan

| Kecepatan | X0 | Xrms | Xrms/ X0 | Freq (hz) | Arms (m/s ²) |
|-----------|------|--------|-------------|--------------|-----------------------------|
| 10 km/h | 0,02 | 0.0241 | 1.205 | 0.926 | 0.8306 |
| 20 km/h | 0,02 | 0.016 | 0.8 | 1.852 | 2.1423 |
| 30 km/h | 0,02 | 0.0072 | 0.36 | 2.778 | 2.1596 |
| 40 km/h | 0,02 | 0.044 | 2.2 | 3.704 | 2.3129 |
| 50 km/h | 0,02 | 0.003 | 0.15 | 4.63 | 2.4783 |
| 60 km/h | 0,02 | 0.0022 | 0.11 | 5.556 | 2.6097 |
| 70 km/h | 0,02 | 0.0017 | 0.085 | 6.481 | 2.7206 |

| | | | | | |
|----------|------|--------|-------|-------|--------|
| 80 km/h | 0,02 | 0.0014 | 0.07 | 7.407 | 2.8024 |
| 90 km/h | 0,02 | 0.0011 | 0.055 | 8.333 | 2.8719 |
| 100 km/h | 0,02 | 0.0009 | 0.045 | 9.259 | 2.9227 |

Dari kedua data di atas, didapatkan grafik seperti pada gambar 5.19 di bawah ini merupakan grafik X_{rms}/X_o terhadap variasi frekuensi dan kecepatan kendaraan, dimana X_{rms} menunjukkan respon perpindahan RMS bodi kendaraan dan X_o menunjukkan amplitude yang digunakan. Nilai RMS merupakan nilai efektif dari nilai yang divariasikan, dimana setiap kecepatan kendaraan yang divariasikan akan memiliki nilai X_{rms}/X_o yang bervariasi pula.



Gambar 5.18 Grafik Perbandingan *Displacement Transmissibility* antara *Quarter Car* dengan HMRSA dan konstanta redaman C

Gambar 5.18 merupakan grafik *displacement transmissibility* dengan variasi kecepatan 10-100 km/jam dari system HMERSA dan system peredam konvensional dengan koefisien redaman ($C=20.000 \text{ Ns/m}$). Dapat dilihat bahwa titik tertinggi dari grafik system HMERSA pada x_{RMS}/x_0 sebesar 18.6 saat frekuensi 4.63 Hz pada kecepatan 50 km/jam. Sedangkan untuk grafik system peredam konvensional nilai pada titik tertinggi sebesar 2.2 dengan frekuensi 3.704 Hz pada kecepatan 40 km/jam. Keduanya memakai amplitude jalan sebesar 2cm (0.02m) dan panjang gelombang 10m.

HMERSA

$$\frac{x_{RMS}}{x_0} = 18.6$$

$$x_{RMS} = 18.6X_0$$

$$x_{RMS} = 18.6(0.02)$$

$$x_{RMS} = 0.372m$$

KONVENSIONAL

$$\frac{x_{RMS}}{x_0} = 2.2$$

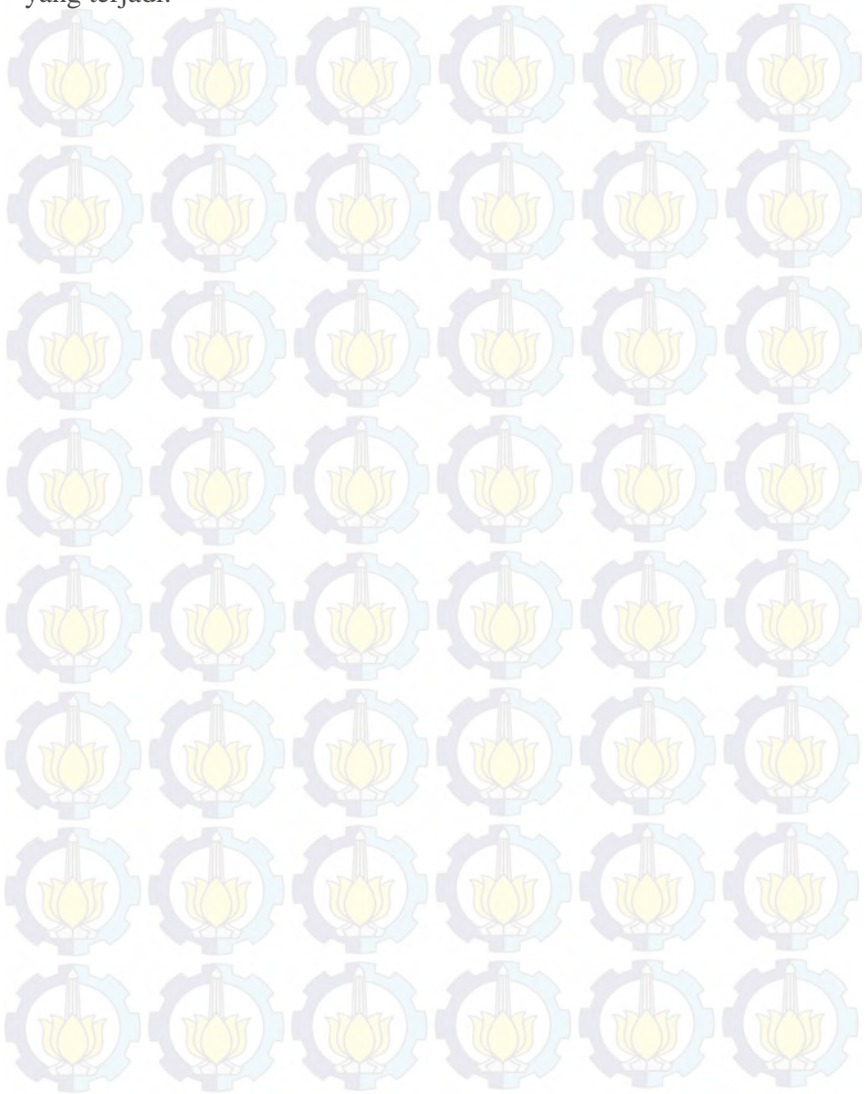
$$x_{RMS} = 2.2 X_0$$

$$x_{RMS} = 2.2(0.02)$$

$$x_{RMS} = 0.044m$$

Hal ini menunjukkan bahwa amplitude dua cm untuk input jalan sinusoidal dapat mentransmisikan perpindahan sebesar 0.372 m ke massa kendaraan pada system HMERSA dan pada system konvensional, dapat mentransmisikan perpindahan sebesar 0.044 m ke massa kendaraan. Jika dibandingkan antara system HMERSA dengan system peredam konvensional ($c=20.000 \text{ Ns/m}$), system HMERSA menghasilkan *displacement transmissibility* yang lebih besar dibandingkan dengan system peredam konvensional. Namun, system HMERSA mempunyai keuntungan yaitu dapat menghasilkan listrik hingga 100 watt. Pada system HMERSA nilai *displacement transmissibility* lebih tinggi daripada system konvensional dikarenakan gaya redam (F_d) yang dihasilkan lebih rendah. Karena gaya redam adalah gaya yang berfungsi untuk meredam energy getaran. Semakin

besar getaran maka semakin besar *displacement* atau perpindahan yang terjadi.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada silinder hidrolik pasangan 5 cm dan 3 cm semakin besar frekuensi input sinusoidal maka semakin besar gaya redam yang dihasilkan.
2. Untuk respon dinamis pada HMERSA suspense miring menghasilkan gaya redam yang lebih kecil daripada suspense tegak dikarenakan ada pengaruh sudut. Besar gaya redam pada suspense tegak keadaan ekspansi 4752N sedangkan untuk suspense miring 4279N
3. Untuk respon kelistrikan pada HMERSA, daya listrik bangkitan maksimal yaitu sebesar 100 Watt. Sedangkan arus dan tegangan listrik maksimal yang dihasilkan sebesar 5.096 A dan 20 Volt. Tidak terdapat perbedaan signifikan antara suspense miring dan tegak.
4. Dari pemberian input sinusoidal 20 km/jam pada *quarter car* dengan HMERSA didapatkan hasil bahwa nilai maksimum dari respon perpindahan sebesar 4.5 m, kecepatan sebesar 10 m/s, dan gaya redam maksimum sebesar 118.4N. Sedangkan daya maksimum yang dihasilkan sebesar 65.15 Watt, arus listrik sebesar 5 A, serta tegangan listrik sebesar 12.79Volt.
5. Dari pemberian input sinusoidal 40 km/jam pada *quarter car* dengan HMERSA didapatkan hasil bahwa nilai maksimum dari respon perpindahan sebesar 4.5 m, kecepatan sebesar 9 m/s, dan gaya redam maksimum sebesar 118.4N. Sedangkan daya maksimum yang dihasilkan sebesar 71.91 Watt, arus listrik sebesar 5 A, serta tegangan listrik sebesar 14.11 Volt.
6. Dari pemberian input sinusoidal 60 km/jam pada *quarter car* dengan HMERSA didapatkan hasil bahwa nilai maksimum dari respon perpindahan sebesar 4.8 m, kecepatan sebesar 7 m/s, dan gaya redam maksimum sebesar 118.4N. Sedangkan

daya maksimum yang dihasilkan sebesar 100 Watt, arus listrik sebesar 5 A, serta tegangan listrik sebesar 39.28 Volt.

7. Pada pemberian input bump yang dimodifikasi, rata-rata keseluruhan respon mengalami osilasi sebanyak 5 kali. Untuk respon perpindahan maksimum adalah sebesar 0.086 m, kecepatan sebesar 0.39 m/s, Sedangkan daya listrik bangkitan maksimum sebesar 100 Watt, arus listrik sebesar 5 A, dan tegangan listrik sebesar 20 Volt.
8. Kendaraan yang dipasang *shock absorber* dengan nilai C sebesar 20000 Ns/m lebih baik daripada HMERSA karena memiliki nilai *displacement transmissibility* lebih rendah yaitu 1.207 pada frekuensi 0.926 Hz. Sedangkan HMERSA sebesar 18.6 pada frekuensi 4.3 Hz, namun HMERSA dapat menghasilkan daya efektif maksimum sebesar 100 Watt.
9. Dari grafik percepatan RMS, ketahanan pengendara baik itu pada *quarter car* yang dipasangkan dengan HMERSA dan konstanta redaman C memiliki waktu ≤ 8 jam untuk variasi kecepatan kendaraan 0-100 km/jam.

6.2 Saran

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan dan hasil yang didapatkan, saran untuk pengembangan dalam penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Disarankan pada penelitian selanjutnya untuk mencoba menguji respon HMERSA dengan model setengah kendaraan (*half car model*)
2. Disarankan pada penelitian selanjutnya untuk mencoba memvariasikan dimensi, jumlah pasangan, maupun jenis dari mekanisme *gear* yang digunakan.
3. Disarankan pada penelitian selanjutnya untuk melakukan pengujian secara langsung pada sistem HMERSA yang sudah dimodelkan.

DAFTAR PUSTAKA

The official U.S. government source for fuel economy information
<http://www.fueleconomy.gov/feg/atv.shtml>

Ghasemalizadeh, Omid dkk. 2014. *Semi Active Suspension Control Using Modern Methodology : A Comprehensive Comparison Study*. Virginia Polytechnic Institute & State University, Virginia.

Evans, Paul. 2009. MIT students develop Hydraulic Regenerative Shock Absorbers,
<[URL:http://www.gizmag.com/hydraulic-regenerative-shock-absorber-mit/10968/](http://www.gizmag.com/hydraulic-regenerative-shock-absorber-mit/10968/)>.

Kedambadi Vasu, Vikram and Susheel, J. *Regenerative Magnetic Shock Absorbers*. Yellamma Dassapa Institute of Technology, Bangalore India.

Patil, Rahul Uttamrao. *Design and Static Magnetic Analysis of Electromagnetic Regenerative Shock Absorber*. Rajarambapu Institute of Technology, India

Zuo, Lei dkk. 2010. *Design And Characterization Of An Electromagnetic Energy Harvester For Vehicle Suspension*. New York State University, USA.

Zuo Lei and Pei-Sheng Zhang. 2012. *Energy Harvesting, Ride Comfort, and Road Handling of Regenerative Vehicle Suspensions*. ASME Journal of Vibrations and Acoustics




Anuar, Kaspul. 2014. *Rancang Bangun dan Studi Karakteristik Respon Getaran Sistem Suspensi dengan Hydraulic Motor Regenerative Shock Absorber*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Fox, Robert W. 2004. *Introduction to Fluid Mechanics Sixth Edition*. John Wiley & Sons, Ltd, United States of America

Rao, Singiresu S. 2010. *Mechanical Vibrations (5th Edition)*. N.J.:Prentice Hall.

LAMPIRAN 1

Tabel Nilai Konstanta (K) pada Head Loss Minor

| Entrance Type | Minor Loss Coefficient, K^a | | | |
|---------------|---|-------|------|-------------|
| Reentrant |  | 0.78 | | |
| Square-edged |  | 0.5 | | |
| Rounded |  | r/D | K | |
| | | 0.02 | 0.06 | ≥ 0.15 |
| | | 0.28 | 0.15 | 0.04 |

^aBased on $h_{L_e} = K(\bar{V}^2/2)$, where \bar{V} is the mean velocity in the pipe.

LAMPIRAN 2

M-file pada Simulasi Simulink Matlab

```
% PARAMETER YANG DIGUNAKAN
%parameter hidrolik
D=0.05;
d=0.03;
dof1=0.002;
dof2=0.002;
rho=860;
L=1.75;
Aof1=(pi*(dof1^2))/4;
Aof2=(pi*(dof2^2))/4;
A1=(pi/4)*((D^2)-(d^2));
A2=(pi*(D^2))/4;
ekspansi=((rho/2)*(((A1/Aof1)^2)-1));
compresi=((rho/2)*(((A2/Aof2)^2)-1));
% parameter motor hidrolik
viscos=0.00001;
eff_v=0.88;
eff_m=0.9;
q=0.0000082/(2*pi);
% parameter gear
dg1=0.115;
dg2=0.045;
mg1=0.3482;
mg2=0.0582;
N=dg1/dg2;
J1=0.5*mg1*((dg1/2)^2);
J2=0.5*mg2*((dg2/2)^2);
%Parameter generator SOC 50%
alfa1=7.26e-04;
alfa2=0.0061;
ALFA2=11.4822;
beta=0.004421052631579;
BETA=-0.815263157894737;
```



```
WB=0;  
cte=9.1420e-04;  
CTE=0.118846;  
fil=1337;  
% quarter car menggunakan parameter truk  
Ms=543.75;  
Mus=50;  
Cusf=5000;  
Kusf=500000;  
Ksf=180000;
```

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kota Marmer Tulungagung pada tanggal 15 Februari 1992. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Aisyah Bustanul Atfa (2000-2001), SDN Kampung Dalem 04 Tulungagung (2001-2004), SMPN 1 Tulungagung (2004-2007), SMAN 1 Kedungwaru Tulungagung (2007-2010), D3 Teknik Mesin, FTI, ITS Surabaya (2010-2013). Setelah lulus dari pendidikan D3, penulis melanjutkan pendidikan jenjang S1 di Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITS Surabaya dengan NRP 2113105009.

Di Jurusan Teknik Mesin, penulis mengambil bidang studi Sistem Dinamis dan Vibrasi sebagai bahasan Tugas Akhir.

Jika ada informasi, pertanyaan maupun saran yang ingin disampaikan kepada Penulis, silakan menyampaikan melalui email amayarachma@gmail.com